百例成才系列丛书

三菱 PLC 应用 100 例

（第 3 版）

杨后川　张学民　杜晓伟　高　涛　杨川江
陈　勇　陶　征　吴　勇　赵振峰　黄　阳　编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以国内广泛使用的三菱 FX 系列 PLC 为主体，按基础知识、应用提高的结构体系，由浅入深、循序渐进地介绍了三菱 PLC 的结构原理及硬件知识、指令系统、基本控制编程、高级功能模块、PLC 系统通信、PLC 与人机界面、PLC 应用系统控制设计等综合内容，各部分内容既注重系统、全面、新颖，又力求叙述简练、层次分明、通俗易懂。所有实例均按“实例说明　实例实现　实例分析”的模式进行编写，理论知识和工程实际应用并重。本书具有极强的针对性、可读性和实用性，将是学习者不可多得的好书。

本书可供从事 PLC 控制系统设计、开发的广大科技人员阅读，也可作为各类高等学校工业自动化、电气工程及自动化、计算机应用、机电一体化、机械电子工程等相关专业学生的教学用书或者参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

三菱 PLC 应用 100 例 / 杨后川等编著. —3 版. —北京：电子工业出版社，2017.5
（百例成才系列丛书）
ISBN 978-7-121-31280-9

Ⅰ. ①三…　Ⅱ. ①杨…　Ⅲ. ①PLC 技术　Ⅳ. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 070993 号

策划编辑：王敬栋（wangjd@phei.com.cn）
责任编辑：王敬栋
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编：100036
开　　本：787×1 092　1/16　印张：27.25　字数：698 千字
版　　次：2011 年 1 月第 1 版
　　2017 年 5 月第 3 版
印　　次：2017 年 5 月第 1 次印刷
印　　数：3 000 册　　定价：69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254590，wangjd@phei.com.cn。

前　言

可编程控制器（PLC）是一种以微处理器为核心，用做数字控制的新型控制器，专为在工业环境下应用而设计，已成为现代工业自动化的三大支柱之一。它已广泛应用于机械制造、冶金、化工、电力、交通、采矿、建材、轻工、环保、食品等行业，既可用于老设备的技术改造，又可用于新产品的开发。因此，对于从事工业控制研发技术人员来说，PLC系统的设计与应用已经成为了必须掌握的一门专业技术。

本书自第 1 版、第 2 版问世以来，以其实例翔实，由浅入深，易于学习上手，实践指导性强而得到了广大读者的认可。本书再版时，根据读者的建议和意见进行完善、充实，并修正了书中出现的一些错误之处。

全书共分 9 章，第 1 章介绍了可编程控制器的结构与分类、功能与特点、编程语言及发展；第 2 章介绍了三菱 PLC 的硬件构成、工作原理、编程软件使用及程序开发过程；第 3 章介绍了三菱 FX_{2N} 的基本指令、功能指令及使用等指令系统；第 4 章介绍了编程规则与技巧、基本控制程序、电动机控制编程和简易梯形图程序设计；第 5 章介绍了三菱 PLC 的状态转移图及步进指令编程应用；第 6 章介绍了 PLC 的模拟量输入/输出、高速计数和凸轮控制器等功能模块；第 7 章介绍了 PLC 通信知识和 PLC 与 PLC、PLC 与计算机等之间的通信；第 8 章介绍了三菱 PLC 人机界面及组态应用；第 9 章介绍了 PLC 控制系统设计的原则与步骤，控制程序设计方法，最后通过实例应用说明 PLC 控制系统的设计过程。各章内容既有联系，又有一定的独立性，并且每章均附有思考题。在编写风格上注意遵循由浅入深、循序渐进的认识规律，便于读者自学。

本书由杨后川、张学民、杜晓伟、高涛、杨川江、陈勇、陶征、吴勇、赵振峰、高阳编著。本书由潘庆军博士和宋述稳副教授共同主审。他们仔细审阅了全部书稿，提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的谢意！

在编写过程中，作者参阅和引用了三菱公司最新技术资料和有关院校、工厂、科研院所的一些教材、文献，有些正式出版的文献已在书的参考文献中列出，有些难免遗漏，对未能列出的文献和资料，编著者向其作者表示诚挚的感谢。

限于编者的理论水平和实际开发经验，书中的缺点和不足之处在所难免，恳请读者和相关专家批评指正。

编著者

目　录

第 1 章　可编程控制器（PLC）概述与电气技术基础……1
1.1　可编程控制器的产生与发展……1
1.1.1　PLC 的产生及定义……1
1.1.2　PLC 的发展……2
1.2　PLC 的特点与功能……4
1.2.1　PLC 的特点……4
1.2.2　PLC 的功能……6
1.3　PLC 的结构与分类……7
1.3.1　PLC 的结构……7
1.3.2　PLC 的分类……11
1.4　PLC 的编程语言……11
1.4.1　梯形图……12
1.4.2　语句表……14
1.4.3　顺序功能图……14
1.4.4　功能块图……15
1.4.5　结构文本……15
1.5　电气技术基础……15
1.5.1　常用低压电器简介……16
1.5.2　电气控制线路的绘图规则……22
1.5.3　电气控制线路的保护类型……24
思考题……27
第 2 章　认识三菱 PLC……28
2.1　认识三菱 PLC 的硬件……28
实例 1：单输入/单输出控制……28
2.1.1　三菱 PLC 的基本结构……28
2.1.2　三菱 FX 系列 PLC 的主机模块……31
2.1.3　三菱 PLC 的 I/O 接线……34
2.2　理解三菱 PLC 的工作原理……35
实例 2：加电输出禁止程序……35
2.2.1　PLC 的工作原理……36
2.2.2　用户程序循环扫描执行……40
2.3　三菱 PLC 的程序开发过程……40
实例 3：电动机的启/停控制……40
2.3.1　PLC 的程序开发环境……41
2.3.2　电动机启/停控制程序的开发过程……45
2.4　编程器的使用……56
2.4.1　编程器简介……56
2.4.2　编程器的基本操作……59
2.4.3　编程器对程序的监视……62
思考题……65
第 3 章　三菱 FX_{2N} 的指令系统……66
3.1　FX_{2N} 的软元件……66
3.1.1　输入继电器……66
3.1.2　输出继电器……67
3.1.3　辅助继电器……67
3.1.4　状态继电器……69
3.1.5　定时器……70
3.1.6　计数器……71
3.1.7　数据寄存器……75
3.1.8　变址寄存器……76
3.1.9　指针……76
3.1.10　常数……77
3.2　FX_{2N} 的基本逻辑指令……77
3.2.1　逻辑取及线圈驱动指令……77
实例 4：逻辑取及线圈驱动指令的应用……78
3.2.2　触点串联指令……79
3.2.3　触点并联指令……79
实例 5：触点串联指令和触点并联指令的应用……80
3.2.4　串联电路块并联指令……81
3.2.5　并联电路块串联指令……82
实例 6：串联电路块并联指令和并联电路块串联指令的应用……82
3.2.6　边沿检测脉冲指令……83

实例 7：边沿检测脉冲指令的应用 …… 84
3.2.7 置位与复位指令 …… 85
实例 8：置位与复位指令的应用 …… 86
3.2.8 脉冲输出指令 …… 87
实例 9：脉冲输出指令的应用 …… 87
3.2.9 取反指令 …… 88
3.2.10 栈操作指令 …… 89
实例 10：栈操作指令的应用 …… 90
3.2.11 主控触点指令 …… 91
实例 11：主控触点指令的应用 …… 92
3.2.12 空操作指令 …… 93
3.2.13 程序结束指令 …… 94
3.3 FX_{2N} 的功能指令 …… 94
3.3.1 功能指令的基本规则 …… 95
3.3.2 程序流程指令 …… 97
实例 12：条件跳转指令的应用 …… 98
实例 13：子程序调用和返回指令的应用 …… 99
实例 14：中断指令的应用 …… 101
实例 15：主程序结束指令的应用 …… 103
实例 16：警戒时钟指令的应用 …… 104
实例 17：循环指令的应用 …… 105
3.3.3 数据传送和比较指令 …… 106
实例 18：比较指令和区间比较指令的应用 …… 108
实例 19：各种传送指令的应用 …… 110
实例 20：数据交换和数据变换指令的应用 …… 112
3.3.4 算术和逻辑运算指令 …… 113
实例 21：加法、减法、乘法和除法指令的应用 …… 115
实例 22：加 1 和减 1 指令的应用 …… 117
实例 23：逻辑与、或和异或指令的应用 …… 118
3.3.5 循环与移位指令 …… 119
实例 24：循环移位指令的应用 …… 120
实例 25：位右移和位左移指令的应用 …… 122
实例 26：移位写入和移位读出指令的应用 …… 124
3.3.6 数据处理指令 …… 125
实例 27：区间复位指令的应用 …… 126
实例 28：译码和编码指令的应用 …… 127
实例 29：置 1 位数总和和置 1 位判断指令的应用 …… 129
实例 30：信号报警器置位和信号报警器复位指令的应用 …… 130
实例 31：平均值和平方根指令的应用 …… 131
实例 32：浮点数转换指令的应用 …… 132
3.3.7 高速处理指令 …… 132
实例 33：输入/输出刷新指令的应用 …… 133
实例 34：刷新和调整滤波时间常数调整指令的应用 …… 134
实例 35：高速计数器置位、复位和区间比较指令的应用 …… 135
实例 36：速度检测指令的应用 …… 136
实例 37：脉宽调制指令和可调速脉冲输出指令的应用 …… 138
3.3.8 方便指令 …… 139
实例 38：初始化状态指令与数据搜索指令的应用 …… 139
实例 39：绝对值式凸轮顺控指令的应用 …… 140
实例 40：增量式凸轮控制指令的应用 …… 142
实例 41：示教定时器指令的应用 …… 143
实例 42：特殊定时器指令的应用 …… 144
实例 43：交替输出指令的应用 …… 145
实例 44：旋转台控制指令的应用 …… 146
3.3.9 外围设备 I/O 指令 …… 147

实例 45：数据输入指令的应用 …… 147
实例 46：数字译码指令的应用 …… 150
实例 47：打印输出指令的应用 …… 151
实例 48：读、写特殊功能模块指令的应用 …… 152
3.3.10 外围设备（SER）指令 …… 153
实例 49：串行通信指令的应用 …… 155
实例 50：模拟量输入指令的应用 …… 156
3.3.11 触点比较指令 …… 156
实例 51：触点比较指令（OR=）的应用 …… 158
思考题 …… 158
第 4 章 PLC 系统的基本控制编程 …… 160
4.1 编程规则与技巧 …… 160
4.1.1 继电器线路可使用、梯形图不能（不宜）使用的情况 …… 160
4.1.2 梯形图能使用、继电器线路不能实现的情况 …… 161
4.1.3 梯形图程序的优化 …… 162
4.2 基本控制程序 …… 165
4.2.1 自锁、互锁与连锁控制 …… 165
实例 52：自锁、互锁与连锁控制 …… 165
4.2.2 时间控制 …… 168
实例 53：瞬时接通/延时断开控制 …… 168
实例 54：延时接通/延时断开控制 …… 169
实例 55：长延时控制 …… 170
实例 56：点动计时控制 …… 172
实例 57：时钟控制 …… 173
4.2.3 脉冲触发控制 …… 174
实例 58：用定时器实现周期脉冲触发控制 …… 174
实例 59：用定时器实现脉宽可控的脉冲触发控制 …… 175
4.2.4 分频控制 …… 176
实例 60：二分频控制 …… 176
4.2.5 报警控制 …… 178
实例 61：故障报警控制 …… 178
4.2.6 计数控制 …… 180
实例 62：扫描计数控制 …… 180
实例 63：6 位数计数控制 …… 181
4.2.7 顺序控制 …… 182
实例 64：用定时器实现顺序控制 …… 182
实例 65：用计数器实现顺序控制 …… 183
实例 66：用移位指令实现顺序控制 …… 185
4.2.8 循环控制 …… 186
实例 67：彩灯闪亮循环控制 …… 186
4.3 常用电动机控制 …… 188
4.3.1 三相异步电动机 …… 188
实例 68：电动机双重锁正、反转控制 …… 188
实例 69：电动机Y—△减压启动控制 …… 190
实例 70：电动机串电阻启动控制 …… 192
4.3.2 直流电动机控制 …… 195
实例 71：并励、串励直流电动机正、反转控制 …… 195
4.3.3 同步电动机控制 …… 199
实例 72：同步电动机启动控制 …… 199
4.3.4 步进电动机控制 …… 201
实例 73：步进电动机正、反转控制 …… 201
4.4 简易梯形图程序设计 …… 205
实例 74：车间排风系统状态监控 …… 205
思考题 …… 207
第 5 章 顺序功能图和步进梯形图 …… 208
5.1 基本概念 …… 208
5.1.1 顺序功能图的基本要素 …… 208
5.1.2 顺序功能图的结构形式 …… 212
5.2 顺序功能图设计方法 …… 213

5.2.1 使用启—保—停电路的设计方法 …… 214
5.2.2 使用置位/复位的设计方法 …… 216
5.2.3 使用 STL/RET 的设计方法 …… 218
实例 75：运料车装卸料控制 …… 221
实例 76：大、小球分类选择控制 …… 226
实例 77：双面钻孔机床运动控制 …… 234
5.3 各种顺序控制方法比较 …… 240
思考题 …… 241
第 6 章 PLC 的功能模块 …… 243
6.1 功能模块概述 …… 243
6.1.1 特殊功能模块的类型及用途 …… 243
6.1.2 特殊功能模块的安装及应用 …… 245
6.2 模拟量输入模块 …… 246
实例 78：FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块应用 …… 250
实例 79：FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块的调整应用 …… 251
6.3 模拟量输出模块 …… 252
实例 80：FX_{2N}—2DA 模拟量输入模块的应用 …… 254
6.4 高速计数模块 …… 255
实例 81：高速计数器模块 FX_{2N}—1HC 的应用 …… 259
6.5 定位控制模块和脉冲输出模块 …… 261
实例 82：凸轮控制器 FX_{2N}—1RM—SET 的应用 …… 264
思考题 …… 267
第 7 章 PLC 系统通信 …… 268
7.1 PLC 通信的基本知识 …… 268
7.1.1 数据通信系统构成 …… 268
7.1.2 数据通信方式及传输速率 …… 268
7.1.3 串行通信接口标准 …… 271
7.1.4 开放式系统互连参考模型 …… 272
7.2 PLC 与 PLC 之间的通信 …… 273
7.2.1 N：N 连接通信 …… 273
实例 83：3 台 FX_{2N} PLC 通过 N：N 通信网络配置及通信程序 …… 275
7.2.2 双机并行连接通信 …… 277
实例 84：两台 FX_{2N} PLC 通过 1：1 并行连接通信 …… 278
7.3 计算机连接与无协议数据传输 …… 279
7.3.1 串行通信协议的格式 …… 279
7.3.2 计算机连接通信协议 …… 281
实例 85：通信端口初始化 …… 283
7.3.3 无协议数据传输 …… 286
实例 86：PLC 与三菱公司的变频器的无协议通信应用 …… 288
思考题 …… 290
第 8 章 人机界面 …… 291
8.1 三菱人机界面概述 …… 291
8.1.1 触摸屏的工作原理及特点 …… 291
8.1.2 触摸屏的分类 …… 292
8.1.3 触摸屏发展趋势 …… 295
8.1.4 三菱触摸屏 …… 296
8.2 人机界面（HMI）的设计 …… 299
8.2.1 人机界面设计的过程和步骤 …… 299
8.2.2 人机界面的设计技术 …… 300
8.2.3 人机界面设计的原则 …… 300
8.3 组态软件使用 …… 301
8.3.1 组态软件简介 …… 302
8.3.2 GT—Designer2 Version2 组态软件的使用 …… 304
实例 87：GT Designer2 组态项目的创建 …… 307
实例 88：电动机交替控制组态 …… 311
8.3.3 组态王软件的使用 …… 314
实例 89：利用组态王进行通风系统运行状态监控的组态 …… 318
思考题 …… 325

第 9 章　PLC 应用系统控制设计 ····· 326
9.1　PLC 控制系统设计的基本原则与步骤 ····· 326
9.1.1　设计的基本原则 ····· 326
9.1.2　设计的步骤与内容 ····· 327
9.2　PLC 控制系统的硬件设计 ····· 334
9.2.1　I/O 端子数的简化 ····· 334
9.2.2　主回路与控制回路设计 ····· 337
9.3　PLC 系统控制程序设计方法 ····· 342
9.3.1　经验设计法 ····· 343
实例 90：PLC 控制送料小车的经验设计 ····· 344
9.3.2　逻辑设计法 ····· 345
实例 91：通风系统运行状态监控 ····· 347
实例 92：电动机交替运行控制 ····· 352
9.3.3　移植设计法 ····· 354
实例 93：某卧式镗床继电器控制系统移植设计为 PLC 控制系统 ····· 355
9.3.4　顺序功能图设计法 ····· 361
9.4　PLC 控制系统应用设计 ····· 361
实例 94：交通灯控制 ····· 361
实例 95：机械手的 PLC 控制 ····· 365
实例 96：某直升机起落架撑杆作动筒检测系统控制 ····· 372
实例 97：组合机床控制 ····· 379
实例 98：PLC 与变频器控制电动机正、反转 ····· 388
实例 99：载货电梯控制系统 ····· 392
实例 100：抢答器程序设计 ····· 407
思考题 ····· 417
附录 A　三菱 FX 系列 PLC 基本指令 ····· 419
附录 B　三菱 FX 系列 PLC 功能指令 ····· 420
参考文献 ····· 425

第 1 章　可编程控制器（PLC）概述与电气技术基础

PLC 是在继电器控制技术、计算机技术和现代通信技术的基础上逐步发展起来的一项控制技术。随着大规模、超大规模集成电路技术和数字通信技术的进步和发展，以及可编程控制器自身技术的不断提高，其在工业生产中已获得极其广泛的应用。PLC 技术与 CAD/CAM 技术、机器人技术被誉为现代工业自动化的三大支柱。

1.1　可编程控制器的产生与发展



可编程控制器 PC（Programmable Controller）是由美国电气制造商协会（NEMA）命名的，但由于近年来 PC 又可表示为个人计算机（Personal Computer），为了加以区别，人们常把可编程控制器称为可编程逻辑控制器 PLC（Programmable Logic Controller）。PLC 是以微处理器为基础，在传统的继电器控制技术基础上，综合了计算机技术、半导体集成技术、自动控制技术、数字技术和通信网络技术而发展起来的新型控制器，是用做数字控制的专用计算机，由用户编写程序进行逻辑控制、定时、计数和算术运算等，再通过数字量和模拟量的输入/输出（I/O）来控制各种生产过程。

1.1.1　PLC 的产生及定义

20 世纪 60 年代以前，用以对工业生产进行自动控制的装置是继电器—接触器控制系统。该系统存在一些缺陷。例如，系统的能耗较多，噪声大；通用性、灵活性差，工艺流程的更新需要大量的人力、物力；因系统通过各种硬件接线的逻辑控制来实现系统的运行，导致机械触点较多，系统运行的可靠性较差；不具备现代工业控制所需的数据通信、网络控制等功能。到了 20 世纪 60 年代以后，美国汽车制造业为适应市场需求不断更新汽车型号，要求及时改变相应的加工生产线。而汽车生产流水线基本上都采用传统的继电器—接触器控制，所以整个系统就必须重新设计和配置。汽车生产流水线的更换越来越频繁，原有的继电器—接触器控制系统就经常需要重新设计安装，这不但造成极大的浪费，而且新系统的接线也非常费时，从而延长了汽车的设计生产周期。在这种情况下，采用传统的继电器—接触器控制就有许多不足。

1968 年，美国 GM（General Motors）公司首次公开招标，要求制造商为其装配线提供一种新型的通用程序控制器，并提出了著名的十项招标指标，即著名的“GM 十条”。

（1）编程简单，可在现场修改程序。

（2）系统的维护方便，采用插件式结构。

（3）体积小于继电器控制柜。

（4）可靠性高于继电器控制柜。

（5）成本较低，在市场上可以与继电器控制柜竞争。

（6）可将数据直接送入计算机。

（7）可直接用交流 115V 输入（注：美国电网电压是 110V）。

（8）输出采用交流 115V，可以直接驱动电磁阀、交流接触器等。

（9）通用性强，扩展方便。

（10）程序可以存储，存储器容量可以扩展到 4KB。

如果说电子技术和电气控制技术是可编程逻辑控制器出现的物质基础，“GM 十条”就是可编程逻辑控制器出现的技术要求基础，也是当今 PLC 最基本的功能。

1969 年，美国数字设备公司（DEC）根据这十项技术指标的要求研制出了第一台可编程逻辑控制器——PDP—14，并成功地应用在 GM 公司的生产线上。第一台 PLC 采用计算机的初级语言编写应用程序，其 CPU 采用中、小规模集成电路组成，以逻辑运算为主，它实质上是一台专用的逻辑控制计算机。1971 年，日本引进了这项技术，并开始生产自己的 PLC。1973 年，欧洲一些国家也生产出自己的 PLC。1974 年，我国开始了 PLC 技术的研究，并在 1977 年研制出第一台具有实用价值的 PLC。

在这一时期，PLC 主要用于顺序控制。随着半导体技术，尤其是微型计算机技术的发展，到了 20 世纪 70 年代中期，PLC 广泛采用微处理器作为中央处理器，并且在外围的输入/输出（I/O）电路中逐渐使用了大规模和超大规模集成电路，这时的 PLC 已经不仅具有逻辑判断功能，还同时具有数据处理、PID（Proportion Integral Differential）调节和通信联网功能。

1987 年 2 月，在国际电工委员会（IEC）颁布的可编程控制器标准草案中对 PLC 做了如下定义：“可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储程序、执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术运算操作等指令，并通过数字式和模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关外围设备，都应按易于与工业控制系统联成一个整体，易于扩充其功能的原则设计”。

1.1.2 PLC 的发展

1．PLC 的发展历程

PLC 产生至今，历经 40 余载，其发展大体经历了如下 4 个主要阶段。

（1）1970—1980 年，PLC 结构定型阶段。在这一阶段，由于 PLC 刚诞生，各种类型的顺序控制器不断出现（如逻辑电路型、1 位机型、通用计算机型、单板机型等），但都被迅速淘汰。最终以微处理器为核心的现有 PLC 结构形式取得了市场认可，得以迅速发展、推广。本阶段为 PLC 原理、结构、软件、硬件趋向统一与成熟的阶段，PLC 的应用领域也开始由最初的小范围逻辑控制、有选择使用，逐步开始向机床、生产线领域拓展。

（2）1980—1990 年，PLC 普及与系列化阶段。在这一阶段，PLC 的生产规模日益扩大，价格不断下降，PLC 被迅速普及。各 PLC 生产厂家产品的规模、品种开始系列化，并且形成了固定 I/O 端子型、基本单元加扩展模块型、模块化结构型这三种延续至今的基本结构模式。PLC 的应用范围开始向顺序控制的全部领域拓展。

在本阶段，三菱公司以最早的 F 系列 PLC 产品为主，包括了小、中、大型各规格的产品。

（3）1990—2000 年，PLC 高性能与小型化阶段。在这一阶段，随着工业电气自动化程度的提高和微电子技术的进步，PLC 的功能日益增强，PLC 由单 CPU 转向多 CPU，16 位和 32 位微处理器被大量应用于 PLC 中，使其运算速度、图像显示和数据处理功能都大大增强。许多公司在加强各种特殊控制功能模块研制的同时，还加强了软件技术的开发，PLC 的体积被大幅度缩小，出现了各种类型的小型化、微型化 PLC。PLC 的应用范围由单一的顺序控制向现场控制拓展。

在本阶段，三菱公司的 PLC 产品开始从 F 系列向 FX 系列过渡，而后陆续推出了 Q/K 型小、中、大型系列产品。

（4）2000 年至今，PLC 功能开发与网络化阶段。在本阶段，为了适应信息技术的发展与工厂自动化的需要，PLC 的各种功能不断开发与完善。一方面，PLC 在继续提高 CPU 运算速度、位数的同时，开发了适用于过程控制、运动控制的特殊功能与模块，使 PLC 的应用范围开始涉及工业自动化的全部领域。同时随着通信联网技术的发展，新通信协议的不断产生，PLC 的网络与通信功能得到迅速发展，PLC 不仅可以连接传统的编程与通用输入/输出设备，还可以通过各种总线构成网络系统，为工厂自动化奠定了基础。PLC 已经真正成为具有逻辑控制、过程控制、运动控制、数据处理和联网通信等功能的多功能控制器。

在本阶段，三菱公司的 PLC 产品仍然以 Q/K 系列为主要产品，只是其性能在不断完善与进一步提高，并陆续有新的 CPU 模块推出。

2．PLC 的发展趋势

从世界上第一台 PLC 诞生至今，PLC 技术得到了迅猛的发展。PLC 的应用领域从最初单一的逻辑控制发展到包括模拟量控制、数字控制及机器人控制等在内的各种工业控制场合，成为工业控制领域中占主导地位的基础自动化设备。PLC 的发展趋势主要表现为以下四个方面。

（1）向微型化、网络化、开放性方向发展。微型化、网络化、开放性是 PLC 未来发展的主要方向。随着微电子技术的发展，新型器件的性能与功能的提高，PLC 的结构将更紧凑、更小巧，其功能更强，安装和操作使用更方便。随着 PLC 控制组态软件的进一步完善和发展， PLC 组态软件和 PC-based 控制系统的逐步增长，金字塔结构的多级网络工业控制技术的成熟，要求计算机与 PLC 之间，以及各种 PLC 之间增强联网和通信能力，越来越多的 PLC 将具有以太网（Ethernet）接口，使得 PLC 在网络化、开放性方面将得到长足的发展。

（2）向系列化、标准化、模块化方向发展。每个生产 PLC 的公司几乎都有自己的系列化产品，同一系列的产品指令及使用向上兼容，以满足新机型的推广和使用。为了推动技术标准化的进程，一些国际性组织，如国际电工协会（IEC），不断为 PLC 的发展制定一些新的标准，如编程语言的标准化、网络通信功能标准化等。PLC 的编程语言主要有梯形图、功能块图和语句表等，但随着复杂的大规模的控制系统增加，这些语言难以满足控制要求。面向顺序控制的功能指令和面向过程控制系统的流程图语言，与计算机兼容的高级语言（如 BASIC、C 语言及汇编语言），还有专用的高级语言等相继出现，然而由于各个生产厂家的 PLC 表达方式各不相同，不同品牌的 PLC 互不兼容，因此编程语言的标准化方面还有待进一步完善，以使其具有良好的兼容性。由于目前各 PLC 生产公司的总线、扩展接口及通信功能均是各自独立制定的，其通信协议往往是专用的，还没有一个适合所有公司

产品的统一标准。在通信接口上，虽然大多数产品采用了标准化接口，但在通信功能上却是非标准化的。近年来，许多 PLC 生产厂家都在努力使自己的产品与制造自动化协议（MAP）兼容，这将使不同机型的 PLC 之间、PLC 与计算机之间能方便地进行通信与联网，实现资源共享。因此，需要制定统一的、规范化的总线和标准化的 PLC 扩展接口。模块式结构使系统的构成更加灵活、方便，有助于主机通过通信设备向模块发布命令和测试状态，提升 PLC 的功能，简化控制系统设计。一般的 PLC 可分为主模块、扩展模块、I/O 模块及各种高性能模块等，每种模块的体积都较小，相互连接方便，使用更简单，通用性更强。功能明确化，专用化的复杂功能由专门模块来完成，如一些厂家开发专用智能 PID 控制群、智能模拟量 I/O 模块、智能位置控制模块、语音处理模块、专用数控模块、智能通信与计算模块等。这些模块本身带有 CPU，能独立工作，无论在速度、精度、适应性、可靠性等各方面都对 PLC 做了极好的补充，有助于克服 PLC 扫描算法的局限性，完成许多 PLC 本身无法完成的功能。总之，系列化、标准化、模块化是 PLC 今后发展的必然趋势。

（3）向高速度、大容量、高性能方面发展。大型 PLC 采用多微处理器系统。例如，有的采用了 32 位微处理器，可同时进行多任务操作，处理速度提高，存储容量大大增加。PLC 的功能进一步加强，以适应各种控制需要，使计算、处理功能进一步完善，特别是增强了过程控制和数据处理的功能。另外，PLC 可以代替计算机进行管理、监控。智能 I/O 组件也将进一步发展，用来完成各种专门的任务（如位置控制、PID 调节、远程通信等）。因此，高速度、大容量、高性能是 PLC 未来发展的重要方面。

（4）向自诊断、容错性、高可靠性方面发展。根据分析，在可编程控制器的故障中，CPU 板占 5%，I/O 接口单元占 15%，传感器占 45%，执行器占 30%，接线占 5%。除前两项共 20%的故障可由 CPU 本身的硬件、软件检测外，其他的 80%都不能通过自诊断查出。因此，各厂家都在开发专门用于检测外部故障的专用智能模块。国外一些主要的 PLC 生产厂家在其生产的 PLC 中增加了容错功能，如自动切换 I/O 双机表决（当输出状态与 PLC 的逻辑状态相比较出错时，会自动断开该输出）和 I/O 三重表决（对 I/O 的状态进行软硬件表决，取两个相同的），以大幅度提高 PLC 控制系统的可靠性。

1.2 PLC 的特点与功能

1.2.1 PLC 的特点

PLC 技术的高速发展，除得益于工业自动化的客观需求外，主要是由于它具有许多独特的优点。PLC 是传统的继电器技术和现代的计算机技术相结合的产物。而在工业控制方面，PLC 还具有继电器控制或计算机控制所无法比拟的优点。

1．可靠性高，抗干扰能力强

可靠性高、抗干扰能力强是 PLC 最重要的特点之一。这主要是由于它采用了一系列特有的硬件和软件措施。

（1）硬件方面：在输入/输出（Input/Output，I/O）通道采用光隔离，有效地抑制了外部干扰源对 PLC 的影响；在设计中采用滤波器等电路增强 PLC 对电噪声、电源波动、振动、

电磁波等干扰的滤除，确保 PLC 在高温、高湿及空气中存有各种强腐蚀物质粒子的恶劣工业环境下能稳定地工作；对于中央处理器（Central Processing Unit，CPU）等重要部件，采用具有良好的导电、导磁性能的材料进行屏蔽，以减少电磁干扰；同时其内部还设置连锁、环境监测与诊断、看门狗（Watchdog）等电路，发生故障自动报警，防止系统发生死循环。

（2）软件方面：PLC 的监控定时器可用于监视执行用户程序的专用运算处理器的延迟，以避免在程序出错和程序调试时因程序错误而出现死循环；当 CPU、电池、输入/输出接口、通信等出现异常时，PLC 的自诊断功能可以检测到这些错误，并采取相应的措施，以防止故障扩大；停电时，后备电池会正常工作。

2．应用灵活，编程方便

PLC 的方便灵活性主要体现在以下两个方面。

（1）编程的灵活性：PLC 采用与实际电路非常接近的梯形图方式编程，广大电气技术人员非常熟悉，易于掌握，易于推广。对于企业中一般的电气技术人员和技术工人，也可以很容易地学会程序设计。这种面向生产、面向用户的编程方式，与常用的计算机语言相比更易于接受，故梯形图被称为面向“蓝领的编程语言”，PLC 也被称为“蓝领计算机”。

（2）扩展的灵活性：PLC 可以根据应用的规模进行容量、功能和应用范围的扩展，甚至可以通过与分布式控制系统（DCS）、其他上位机或 PLC 等的通信来扩展功能，并与外围设备进行数据交换。

3．功能完善，适用性强

PLC 发展至今，已形成了大、中、小各种规模的系列化产品，并将电控（逻辑控制）、电仪（过程控制）和电结（运动控制）三电集于一体，可以方便、灵活地组合成各种不同规模和要求的工业控制系统。PLC 除具有逻辑运算、算术运算、数制转换及顺序控制功能外，还具备模拟运算、显示、监控、打印及报表生成等功能，可用于各种数字控制领域。此外，PLC 还具有较完善的自诊断、自测试功能。

近年来 PLC 的功能单元大量涌现，使 PLC 渗透到了位置控制、温度控制、CNC 等各种工业控制中。由于 PLC 通信功能的增强及人机界面技术的发展，使用 PLC 组成各种自动控制系统变得非常容易。

PLC 还具有强大的网络功能。它所具有的通信联网功能，使相同或不同厂家和类型的 PLC 可进行联网，并与上位机通信构成分布式控制系统，使其不仅能做到远程控制、PLC 内部或与上位机进行通信，还具备专线上网、无线上网等功能。这样，PLC 就可以组成远程控制网络。

4．易于安装、调试、维修

PLC 用软件功能取代了继电器—接触器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，大大减少了控制设备外部的接线。在安装时，由于 PLC 的 I/O 接口已经做好，可以直接和外围设备相连，而不再需要专用的接口电路，因此硬件安装上的工作量大幅减小。用户程序可以在实验室进行模拟调试，调试完成后再进行生产现场联机调试，使控制系统设计及建造的周期大为缩短。

PLC 还能够通过各种方式直观地反映控制系统的运行状态，如内部工作状态、通信状

态、I/O 状态和电源状态等，非常有利于维护人员对系统的工作状态进行监视。另外，PLC 的模块化结构可以使维护人员很方便地检查、更换故障模块，当控制功能改变时能及时更改系统的结构和配置。而且各种模块上均有运行状态和故障状态指示灯，便于用户了解运行情况和查找故障。一旦其中某个模块发生故障，用户可通过更换模块的办法，使系统迅速恢复运行。有些 PLC 还允许带电插/拔 I/O 模块。

5．体积小、质量轻、能耗低

由于 PLC 是专为工业控制而设计的，其内部电路主要采用微电子技术设计，因此具有结构紧凑、体积小、质量轻的特点，易于装入机械设备内部，组成机电一体化的设备。同时 PLC 一般采用低电压供电，硬件耗电少，与传统的继电器相比能耗更低。

1.2.2 PLC 的功能

PLC 作为工业控制的多功能控制器，不仅能满足一般工业控制需要，而且能适应工业控制的特殊控制要求，并可实现联网和通信控制。虽然不同类型 PLC 的性能、价格有差异，但其主要功能是相近的，如图 1-1 所示。

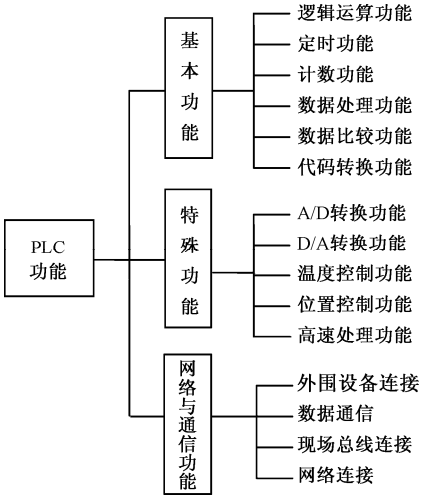


图 1-1　PLC 的功能组成

1．基本功能

逻辑运算功能是 PLC 必备的基本功能。本质上说，它以计算机“位”运算为基础，按照程序的要求，通过对来自设备外围的按钮、行程开关、接触器触点等开关量（也称数字量）信号进行逻辑运算处理，并控制外围指示灯、电磁阀、接触器线圈的通/断。

在早期的 PLC 上，顺序控制所需要的定时、计数功能需要通过定时模块与计数模块来实现，但是，目前它已经成为 PLC 的基本功能之一。此外，逻辑控制中常用的代码转换、数据比较与处理等，也是 PLC 常用的基本功能。

2．特殊功能

PLC 的特殊控制功能包括模/数（A/D）转换、数/模（D/A）转换、温度控制、位置控制、高速处理等。这些特殊控制功能的实现一般需要 PLC 的特殊功能模块来完成。

A/D 转换与 D/A 转换多用于过程控制或闭环调节系统。在 PLC 中，通过特殊的功能模块与功能指令，可以对过程中的温度、压力、流量、速度、位移、电压、电流等连续变化的物理量进行采样，并通过必要的运算（如 PID）实现闭环自动调节，必要时也可以对这些物理量进行各种形式的显示。

位置控制一般通过对 PLC 的特殊应用指令的写入与状态的读取，对位置控制模块的位移量、速度、方向等进行控制。位置控制模块一般以位置给定指令脉冲的形式输出，指令脉冲再通过伺服驱动器或步进驱动器、驱动伺服电动机或步进电动机带动进给传动系统实现闭环位置控制。

高速处理功能一般通过 PLC 的特殊应用指令和高速处理模块，如高速计数、快速响应模块等实现，PLC 通过高速处理命令的写入与状态的读取，对高速变化的位置、速度、流量等值进行处理控制。高速计数模块可以对数十千赫甚至上百千赫的脉冲进行计数处理，保证负载信息的及时处理并驱动。快速响应模块将输入量的变化较快地反映到输出量上。总之，PLC 的高速处理功能对变化快、脉冲宽度小于 PLC 扫描周期的输入/输出信号进行处理，避免了丢失部分关键信号，从而影响控制过程的及时性和准确性。

3．网络与通信功能

PLC 早期的通信一般仅局限于 PLC 与外围设备（编程器或编程计算机等）间的简单串行口通信。现代工业控制中的网络与通信已经是工业控制中不可缺少的重要内容，随着工业信息技术的发展，现代 PLC 的通信不仅可以进行 PLC 与外围设备间的通信，而且可以在 PLC 与 PLC 之间、PLC 与其他工业控制设备之间、PLC 与上位机之间、PLC 与工业网络之间进行通信，并可以通过现场总线、网络总线组成系统，从而使得 PLC 可以方便地进入工厂自动化系统。

1.3 PLC 的结构与分类

1.3.1 PLC 的结构

从硬件结构形式上可以将 PLC 分为整体式固定 I/O 型、基本单元加扩展型、模块式 PLC、集成式 PLC 和分布式 PLC 五种结构形式。

1．整体式固定 I/O 型 PLC

整体式固定 I/O 型 PLC 是一种整体结构、I/O 点数固定的小型 PLC（也称微型 PLC），如图 1-2 所示。整体式固定 I/O 型 PLC 的处理器、存储器、电源、输入/输出接口、通信接口等都安装在同一个机体内，I/O 点数比较固定，并且无 I/O 扩展模块接口。



图 1-2 整体式固定 I/O 型 PLC

整体式固定 I/O 型 PLC 的特点是结构紧凑、体积小、安装简单，适用于 I/O 控制要求固定、点数较少（10～30 点）的机电一体化设备或仪器的控制，价格相对便宜，性价比高。此类 PLC 一般可以安装少量的通信接口、显示单元、模拟量输入单元等微型功能选件，以增加必要的功能。

整体式固定 I/O 型 PLC 品种、规格较少，比较常用的有日本 MITSUBISHI（三菱）的 FX_{1S}—10/14/20/30 系列等。

2．基本单元加扩展型 PLC

基本单元加扩展型 PLC 是一种由整体结构固定 I/O 点数的基本单元、可选择扩展 I/O 模块构成的小型 PLC，如图 1-3 所示。PLC 的处理器、存储器、电源、固定数量的输入/输出接口、通信接口等安装在同一个机体内，称为基本单元。通过其扩展接口，可以连接扩展 I/O 模块与功能模块，进行 I/O 点数与控制功能的扩展。



图 1-3　基本单元加扩展型 PLC

与整体式固定 I/O 型 PLC 相比，基本单元加扩展型 PLC 同样具有结构紧凑、体积小、安装简单的特点；但它可以根据设备的 I/O 点数与控制要求，增加 I/O 点或功能模块，因此，具有 I/O 点数可变与功能扩展容易的优点，可以灵活适应控制要求的变化。

基本单元加扩展型 PLC 与整体式固定 I/O 型 PLC 的主要区别在于：

（1）基本单元加扩展型 PLC 的基本单元本身具有集成、固定点数的 I/O 点，基本单元可以独立使用。

（2）基本单元、扩展模块自成单元，不需要安装基板或机架，因此在控制要求变化时，可以在原基础上很方便地对 PLC 的配置进行改变。

（3）可以使用功能模块，由于基本单元具有扩展接口，因此可以连接其他功能模块。

基本单元加扩展型 PLC 的最大 I/O 点数通常可以达到 256 点以上；功能模块的规格与品种也较多，有模拟量输入/输出、位置控制、温度测量与调节、网络通信等。

这类 PLC 在机电一体化产品中的实际用量最大，大部分生产厂家的小型 PLC 都采用了这种结构形式，如日本 MITSUBISHI（三菱）的 FX_{1N}/FX_{1NC}/FX_{2N}/FX_{2NC}/FX_{3UC} 系列等。

3．模块式 PLC

模块式 PLC 是大、中型 PLC 的常用结构，如图 1-4 所示。它通常需要使用统一的安装基板或机架，PLC 的部分或全部单元采用模块化安装的结构形式。专用的安装基板或机架除用于安装、固定各 PLC 组成模块外，通常还带有内部连接总线，各组成模块通过内部总线构成整体。

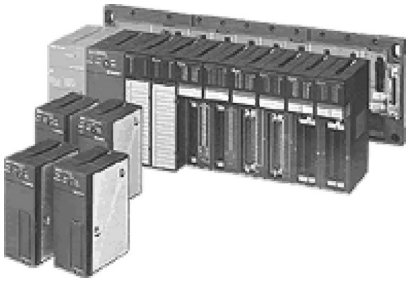


图 1-4　模块式 PLC

模块式 PLC 的电源、中央处理器、输入/输出、通信等一般为独立的模块。在部分 PLC 上，也有将电源与中央处理器（包括存储器）、基板进行一体化的结构，但所有其他模块（I/O 模块与功能模块）均为独立安装。

与整体式固定 I/O 型及基本单元加扩展型 PLC 相比，模块式 PLC 的特点如下所述。

（1）全部 PLC 的组成模块均可以由用户自由选择，不受基本单元 I/O 的限制，PLC 的配置更灵活。

（2）模块式 PLC 可以连接的 I/O 点数、功能模块数量众多，容易构成大、中型 PLC。

（3）模块式 PLC 的 I/O 模块一般均采用可拆卸的连接端，安装或更换模块时一般不需要接线，安装调试、故障诊断与维修方便。

模块式 PLC 的 I/O 点一般可以达到 1024 点以上，可以连接各种开关量输入/输出、模拟量输入/输出、位置控制、温度测量与调节、网络通信等功能扩展模块。

此类 PLC 通常用于复杂机电一体化产品与自动线的控制，绝大部分生产厂家的大、中型 PLC 都采用了这种结构形式，如日本 MITSUBISHI（三菱）的 Q 系列等。

4．集成式 PLC

集成式 PLC（也称内置式 PLC）一般作为数控系统（CNC）的功能补充，用于实现数控机床或其他数控设备的辅助机能控制，如刀具自动交换控制、工作台自动交换控制、冷却的开/关控制、主轴的启动/正反转/停止控制、夹具的自动松/夹、自动上/下料控制等。

集成式 PLC 是一种 PLC 与 CNC（数控装置）集成一体的专用 PLC，通常无独立的电源与 CPU，一般不可以单独使用。

在大多数数控系统中，PLC 与 CNC 共用同一 CPU，如三菱的 M64S/E68/E60 系列数控系统、SIEMENS 810 系列、802 系列数控系统、FANUC 0 系列数控系统等。图 1-5 所示为集成式 PLC 的数控系统组成示意图。

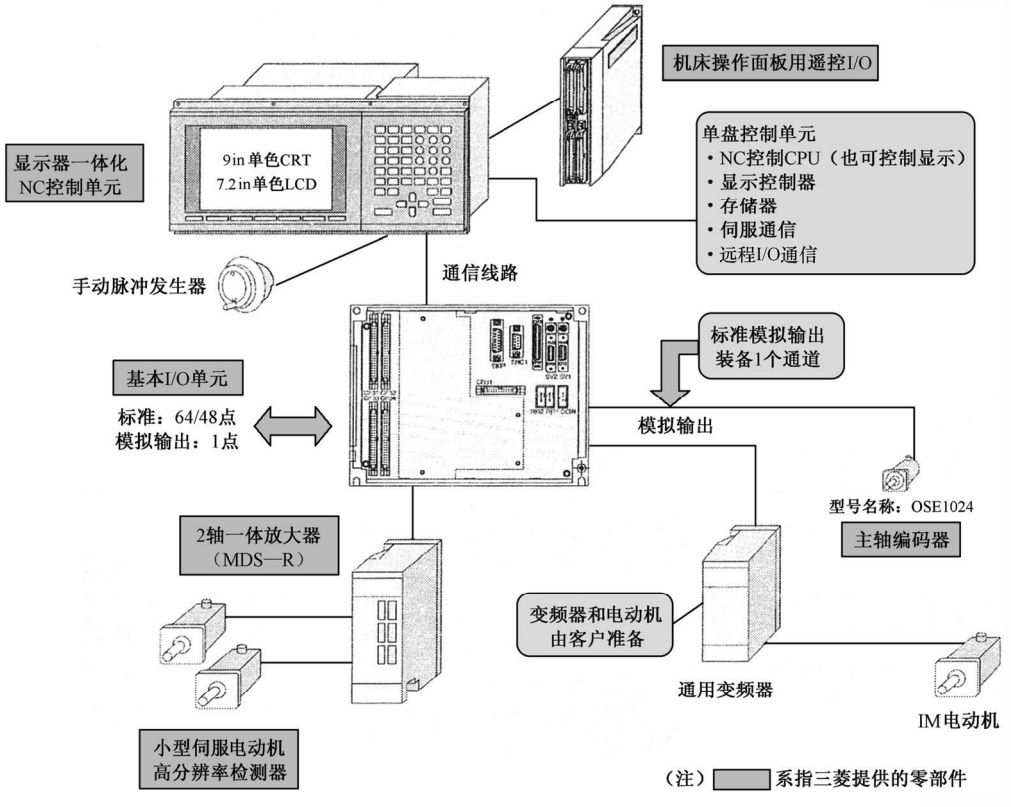


图 1-5　集成式 PLC 的数控系统组成示意图

当 PLC 与 CNC 共用 CPU 时，PLC 的输入/输出通常以 I/O 接口模块的形式安装在数控系统或机床上，I/O 模块与 CPU 间通过总线连接，如三菱的 FCU6—HRC341/351 模块、SIEMENS 802D 的 PP72/48 模块、FANUC—0iC I/O 模块均属于这种情况。采用这种结构时，PLC 接口模块一般都为用途单一的开关量输入/输出模块（有时有少量的模拟量接口），

单个模块的 I/O 点数通常都较多，如 FANUC—0iC I/O 模块为 96 点输入/64 点输出。但接口模块的规格较少，一般只有 1～2 种，并且 I/O 的点数与输入/输出的要求固定不变。当 I/O 点数不足时，需要增加 I/O 模块进行扩展，PLC 通常无特殊功能模块可以供选择。

在功能强大的数控系统中，PLC 也有使用单独 CPU 的场合，此类 PLC 具有独立的电源模块、CPU 模块、I/O 模块，整体结构与通用型模块式 PLC 相同，也可以作为独立 PLC 使用（此类情况并不常见）。在有些 CNC 上，也有直接使用通用型 PLC 的情况。

使用单独 CPU 的集成式 PLC，一般通过特殊的接口模块与总线实现 CNC 与 PLC 间的数据交换。PLC 的其他组成部分均为模块化结构，与通用型 PLC 一样，单个 I/O 模块的控制点数较少，但可以安装的模块数较多，并且输入/输出要求可变，使用较灵活。集成式 PLC 的优点是可以随时通过 CNC 的操作面板进行程序编辑、调试与状态诊断，在部分系统中还可以进行梯形图的动态显示。

集成式 PLC 的使用方法与通用型 PLC 基本相同，但在 I/O 信号与内部继电器方面，具有地址固定的 CNC 与 PLC 间的内部传送信号；在指令系统方面，具备部分适合于 CNC 机床控制的特殊功能指令，如刀具自动交换控制用的回转器计数指令、回转器捷径选择指令、“随机换刀”控制指令等。

由于集成式 PLC 一般都需要与 CNC 同时使用，因此编程时必须了解系统内部 PLC 与 CNC 之间的信号关系，才能正确使用。

5．分布式 PLC

分布式 PLC 是一种用于大型生产设备或生产线实现远程控制的 PLC，如图 1-6 所示，一般通过在 PLC 上增加用于远程控制的“主站模块”实现对远程 I/O 点的控制。中央控制 PLC 的结构形式原则上无规定的要求，可以是基本单元加扩展型 PLC 或模块式 PLC，但由于功能、I/O 点数等方面的限制，常见的还是以模块化 PLC 居多。

分布式 PLC 的特点是各组成模块可以安装在不同的工作场所。例如，可以将 CPU、存储器、显示器等以中央控制（通常称为主站）的形式安装于控制室，将 I/O 模块（通常称为远程 I/O）与功能模块以“工作站”（通常称从站）的形式安装于生产现场的设备上。中央控制 PLC（主站）与“工作站”（从站）之间一般需要通过总线（如 MITSUBISHI 公司的 CC-Link 等）进行连接与通信，因此它事实上已经构成了简单的 PLC 与功能模块间的网络系统。

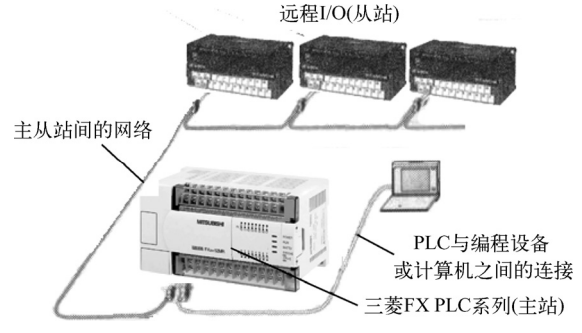


图 1-6　分布式 PLC 的组成示意图

1.3.2 PLC 的分类

目前各个厂家生产的 PLC 品种、规格及功能都各不相同，其分类也没有统一标准，这里仅从功能、I/O 点数和程序容量两种分类方法介绍，如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 按功能分类

分 类	主 要 功 能	应 用 场 合
低档机	具有逻辑运算、定时、计数、移位及自诊断、监控等基本功能，还可有少量模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、通信等功能	主要适用于开关量控制、逻辑控制、顺序控制、定时/计数控制及少量模拟量控制的场合
中档机	除具有低档机的功能外，还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、数制转换、远程 I/O、子程序调用、通信联网等功能。有些还具有中断控制、PID 控制等功能	适用于既有开关量又有模拟量的较为复杂的控制系统，如过程控制、位置控制等
高档机	除具有中档机的功能外，还具有较强的数据处理功能（如算术运算、矩阵运算、位逻辑运算、平方根运算）、模拟量调节、特殊功能函数运算、制表及表格传送、监控、智能控制及更强的通信联网功能等	可用于大规模过程控制或构成分布式网络控制系统，实现整个工厂自动化

表 1-2 按 I/O 点数和程序容量分类

分 类	I/O 点数	程 序 容 量	机 型
超小型机	64 点以内	256～1000B	三菱公司的 FX_{1S}、松下公司的 FP0 系列 PLC
小型机	64～256	1～3.6KB	三菱公司的 FX_{1N}、FX_{2N} 系列 PLC，西门子公司的 S7—200（CPU224、CPU226）系列 PLC
中型机	256～2048	3.6～13KB	三菱公司的 A1S 系列 PLC，西门子公司的 S7—300 系列 PLC
大型机	2048 以上	13KB	三菱公司的 A3N、Q06H 及以上系列 PLC，西门子公司的 S7—400 系列 PLC

注：以上分类并不严格，特别是市场上许多小型机已具有中、大型机功能，故列表仅供参考。

1.4 PLC 的编程语言



PLC 是专为工业控制而开发的装置，主要使用者是企业电气技术人员。为了适应他们的传统习惯和掌握能力，通常 PLC 不采用计算机编程语言，而采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”编程。国际电工委员会（IEC）1994 年 5 月公布的 IEC 61131—3《可编程控制器语言标准》详细地说明了句法、语义和下述五种编程语言。

（1）梯形图（Ladder Diagram，LD）。

（2）指令语言（Instruction List，IL）。

（3）顺序功能图（Sequential Function Chart，SFC），也称为状态转移图。

（4）功能块图（Function Block Diagram，FBD）。

（5）结构文本（Structured Text，ST）。

其中，梯形图（LD）和功能块图（FBD）为图形语言；指令语言（IL）和结构文本（ST）为文字语言；顺序功能图（SFC）是一种结构块控制流程图。

目前已有越来越多的生产 PLC 的厂家提供符合 IEC 61131—3 标准的产品。有的厂家推出的在个人计算机上运行的“PLC 软件包”，也是按 IEC 61131—3 标准设计的。

1.4.1 梯形图

梯形图是使用最多的图形编程语言，其基本结构形式如图 1-7 所示。梯形图与继电器控制系统的电路图很相似，特别适用于开关量逻辑控制。梯形图常被称为电路或程序，梯形图的设计称为编程。梯形图由触点、“线圈”（主要指 Y、M 等继电器和辅助继电器）和应用指令等组成。线圈通常代表逻辑输出结果和输出标志位。触点代表逻辑输入条件。

1．梯形图编程的基本概念

（1）能流。在梯形图中，为了分析各个元件间的输入与输出的关系，就会假想一个概念电流，也称为能流（Power Flow）。认为能流按照从左到右的方向流动，这一方向与执行用户顺序时的逻辑运算关系是一致的。在图 1-7 中，当 X001 与 X002 的触点接通，或者 M0 与 X002 的触点接通时，就会有一个假想的能流流过 Y000 的线圈，使线圈通电。利用能流这一概念，可以帮助我们更好地理解和分析梯形图。能流只能从左向右流动，层次改变只能从上向下。

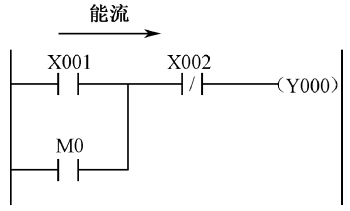


图 1-7　梯形图基本结构形式

（2）母线。梯形图两侧的垂直公共线称为母线（Bus Bar）。母线之间有能流从左向右流动。通常梯形图中的母线有左右两条，如图 1-7 所示。

（3）软触点。PLC 梯形图中的某些编程元件沿用了继电器这一名称，如输入继电器、输出继电器、内部辅助继电器等，但是它们不是真实的物理继电器，而是一些存储单元，每个软继电器的触点与 PLC 存储器中映像寄存器的一个存储单元相对应，所以这些触点称为软触点。这些软触点的“1”或“0”状态代表着相应继电器触点或线圈的接通或断开。而且对于 PLC 内部的软触点，该存储单元如果为“1”状态，则表示梯形图中对应软继电器的线圈通电，其常开触点（┤ ├）接通，常闭触点（┤/├）断开。在继电器控制系统的接线中，触点的数目是有限的，而 PLC 内部的软触点的数目和使用次数是没有限制的，用户可以根据控制现场的具体要求在梯形图程序中多次使用同一软触点。触点与线圈在梯形图程序与动态检测中所代表的意义如表 1-3 所示。

表 1-3　梯形图程序中触点与线圈所代表的意义

符　　号	代表的意义	常用的地址
┤ ├	常开触点，未接通，存储单元为“0”状态	X、Y、M、T、C
┤▮├	常开触点，已接通，存储单元为“1”状态	X、Y、M、T、C
┤/├	常闭触点，未接通，存储单元为“1”状态	X、Y、M、T、C
┤▮/├	常闭触点，已接通，存储单元为“0”状态	X、Y、M、T、C
()	继电器线圈，未接通，存储单元为“0”状态	Y、M
(▮)	继电器线圈，已接通，存储单元为“1”状态	Y、M

2．梯形图的特点

PLC 的梯形图源于继电器逻辑控制系统的描述，并与电气控制系统梯形图的基本思想是一致的，只是在使用符号和表达方式上有一定区别。它采用梯形图的图形符号来描述程序设计，是 PLC 程序设计中最常用的一种程序设计语言。这种程序设计语言采用因果关系来描述系统发生的条件和结果，其中每个梯级是一个因果关系。在梯级中，描述系统发生的条件表示在左侧，事件发生的结果表示在右侧。PLC 的梯形图使用的内部辅助继电器、定时/计数器等，都是由软件实现的，它的最大优点是使用方便、修改灵活、形象、直观和实用。这是传统电气控制的继电器硬件接线所无法比拟的。

关于梯形图的格式，一般有如下一些要求：每个梯形图网络由多个梯级组成。每个输出元素可构成一个梯级，每个梯级可有多个支路。通常每个支路可容纳 11 个编程元素，最右侧的元素必须是输出元素。一个网络最多允许 16 条支路。

梯形图有以下 8 个基本特点。

（1）PLC 梯形图与电气操作原理图相对应，具有直观性和对应性，并与传统的继电器逻辑控制技术相一致。

（2）梯形图中的“能流”不是实际意义的电流，而是“概念”电流，是用户程序运算中满足输出执行条件的形象表示方式。“能流”只能从左向右流动。

（3）梯形图中各编程元件所描述的常开触点和常闭触点，可在编制用户程序时无限引用，不受次数的限制，既可常开又可常闭。

（4）梯形图格式中的继电器与物理继电器是不同的概念。在 PLC 中编程元件沿用了继电器这一名称，如输入继电器、输出继电器、内部辅助继电器等。对于 PLC 来说，其内部的继电器并不是实际存在的具有物理结构的继电器，而是指软件中的编程元件（软继电器）。编程元件中的每个软继电器触点都与 PLC 存储器中的一个存储单元相对应。因此，在应用时，需与原有继电器逻辑控制技术的有关概念区别对待。

（5）梯形图中输入继电器的状态只取决于对应的外部输入电路的通/断状态，因此在梯形图中没有输入继电器的线圈。输出线圈只对应输出映像区的相应位，不能用该编程元件直接驱动现场机构，位的状态必须通过 I/O 模块上对应的输出单元驱动现场执行机构进行最后动作的执行。

（6）根据梯形图中各触点的状态和逻辑关系，可以求出与图中各线圈对应的编程元件的 ON/OFF 状态，称为梯形图的逻辑运算。逻辑运算按照梯形图中从上到下、从左至右的顺序进行。逻辑运算是根据输入映像寄存器中的值，而不是根据逻辑运算瞬时外部输入触点的状态来进行的。

（7）梯形图中的用户逻辑运算结果马上可为后面用户程序的逻辑运算所利用。

（8）梯形图与其他程序设计语言有一一对应关系，便于相互的转换和对程序的检查。但对于较为复杂的控制系统，与顺序功能图等程序设计语言比较，梯形图的逻辑性描述还不够清晰。

3．梯形图设计规则

（1）由于梯形图中的线圈和触点均为“软继电器”，因此同一标号的触点可以反复使用，次数不限，这也是 PLC 区别于传统控制的一大优点。

（2）每个梯形图由多层逻辑行（梯级）组成，每层逻辑行起始于左母线，经过触点的各种连接，最后结束于线圈，不能将触点绘制在线圈的右侧，只能在触点的右侧接线圈。每一逻辑行实际代表一个逻辑方程。

（3）梯形图中的“输入触点”仅受外部信号控制，而不能由内部继电器的线圈将其接通或断开，即线圈不能直接与左母线相连接。所以在梯形图中只能出现“输入触点”，而不可能出现“输入继电器的线圈”。

（4）在多个串联回路相并联时，应将触点最多的那个串联回路放在梯形图的最上面。在多个并联回路相串联时，应将触点最多的并联回路放在梯形图的最左面。这种安排所编制的程序简洁明了，指令较少。

（5）触点应绘制在水平线上，不能绘制在垂直分支上。被绘制在垂直线上的触点，难以正确识别它与其他触点间的关系，也难以判断通过触点对输出线圈的控制方向。因此梯形图的书写顺序是自左至右、自上至下，CPU 也按此顺序执行程序。

（6）梯形图中的触点可以任意串联、并联，但输出线圈只能并联，不能串联。

1.4.2 语句表

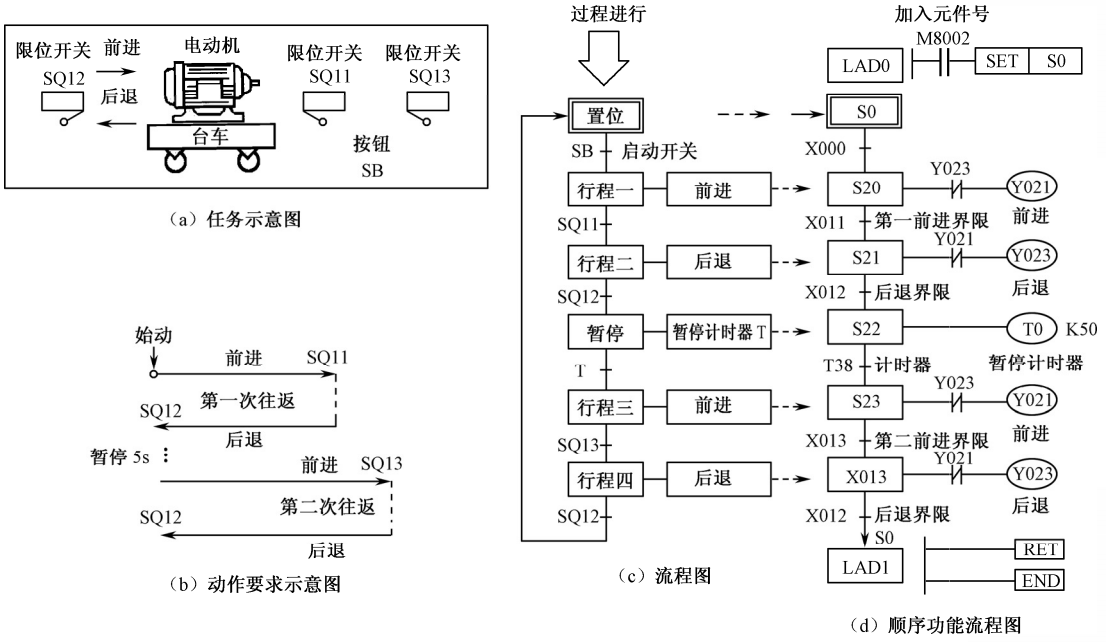
PLC 的指令是一种与计算机的汇编语言中的指令相似的助记符表达式。语句表表达式与梯形图有一一对应的关系，由指令组成的程序称做指令（语句表）程序。在用户程序存储器中，指令按步序号顺序排列。将图 1-7 所示梯形图程序用语句表编写如下：

序号	操作码	操作数
1	LD	X001
2	OR	M0
3	ANI	X002
4	OUT	Y000

每一条语句表指令都包含操作码和操作数两部分，操作数一般由标志符和地址码组成。在上面的语句表表达式中，操作码为 LD、OR、ANI、OUT 等；操作数为 X001、X002、M0、Y000。其中，X、M、Y 为操作数中的标志符；001、002、0 等为操作数中的地址码。这一组指令语言应包括可编程控制器处理的所有功能。

1.4.3 顺序功能图

顺序功能图（状态转移图）是一种较新的编程方法，如图 1-8 所示。它将一个完整的控制过程分为若干阶段，各阶段具有不同的动作，阶段间有一定的转换条件，转换条件满足就实现阶段转移，上一阶段动作结束，下一阶段动作开始。它提供了一种组织程序的图形方法。在顺序功能图中可以用其他语言嵌套编程，步、路径和转换是顺序功能图中的三种主要元素。顺序功能图主要用来描述开关量顺序控制系统，根据它可以很容易绘制出顺序控制梯形图程序。图 1-8 所示为顺序功能图的一个实例。图 1-8（a）所示为该任务的示意图，要求控制电动机正/反转，实现小车往返行驶，按钮 SB 控制电动机的启动和停止，SQ11、SQ12、SQ13 分别为三个限位开关，控制小车的行程位置；图 1-8（b）所示为动作要求示意图；图 1-8（c）所示为按照动作要求绘制出的流程图；图 1-8（d）所示为将流程图中符号改为 PLC 指定符号后的功能流程图程序。可以看到，整个程序完全按动作顺序直接编程，非常直观简便，思路很清晰，很适合顺序控制的场合。



（a）任务示意图　（b）动作要求示意图　（c）流程图　（d）顺序功能流程图

图 1-8　顺序功能图

1.4.4　功能块图

功能块图类似于数字逻辑门电路，它是 PLC 的一种编程语言形式，有数字电路基础的人很容易掌握。该编程语言用类似与门、或门的方框来表示逻辑运算关系。方框的左侧为逻辑运算的输入变量，右侧为输出变量。I/O 端的小圆圈表示“非”运算，方框被“导线”连接在一起，信号自左向右流动。功能块图程序如图 1-9 所示，该功能块图输出：

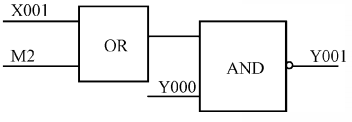


图 1-9　功能图块程序

$$Y001=\overline{(X001+M2)\cdot Y000}$$

1.4.5　结构文本

结构文本是为 IEC 61131—3 标准创建的一种专用的高级编程语言，如 BASIC、Pascal、C 语言等。它采用计算机的描述语句来描述系统中各种变量之间的运算关系、完成所需的功能或操作。与梯形图相比，它能实现复杂的数学运算，编写的程序非常简洁和紧凑。在大中型可编程控制器系统中，常采用结构文本设计语言来描述控制系统中各变量之间的关系，如一些模拟量等。它也被用于分布式控制系统的编程和组态。在进行 PLC 程序设计过程中，除允许多种编程语言供用户使用外，标准还规定编程者可在同一程序中使用多种编程语言，这使编程者能选择不同的语言来适应特殊的工作，使 PLC 的各种功能得到更好的发挥。

1.5　电气技术基础

PLC 控制离不开电气控制。在某些系统中，PLC 本身就是电气控制系统的一部分。同

时，在构造 PLC 系统时也脱离不开基本的电气控制元件及其设计原理。因此，在了解 PLC 系统时，有必要先行学习和掌握电气控制技术的基本知识。

1.5.1 常用低压电器简介

低压电器是实现电气控制线路的基本器件。根据使用要求及控制信号，通过一个或多个器件组合，能手动或自动分合额定电压在直流 1200V、交流 1500V 及以下的电路，以实现电路中被控制对象的控制、调节、变换、检测、保护等作用的基本器件称为低压电器。下面介绍一些 PLC 控制系统中常用的低压电器元件。

1．开关电器

开关是最为普通的低压电器之一，其作用是分合电路、开断电流。在配电和电动机保护电路中经常使用的开关，其种类非常多，如刀开关、隔离开关、负荷开关、转换开关、组合开关、断路器等。在 PLC 自动控制系统中，使用最多的是断路器。低压断路器将控制电器和保护电器的功能合为一体，是一种既有手动开关作用，又能进行自动失电压、欠电压、过载和短路保护的电器，应用极为广泛，可用来分配电能、不频繁地启动异步电动机、对电动机及电源线路进行保护。当线路发生严重过载、短路或欠电压等故障时，断路器能自动切断电源，其功能相当于熔断式断路与过电流、过电压、过热继电器等的组合，而且在分断故障电流后，一般不需要更换零部件。断路器的种类是非常多的，如真空断路器、框架断路器、塑壳断路器等。图 1-10 所示为几种常见的断路器形式。在电路图中断路器的图形和文字符号如图 1-11 所示。

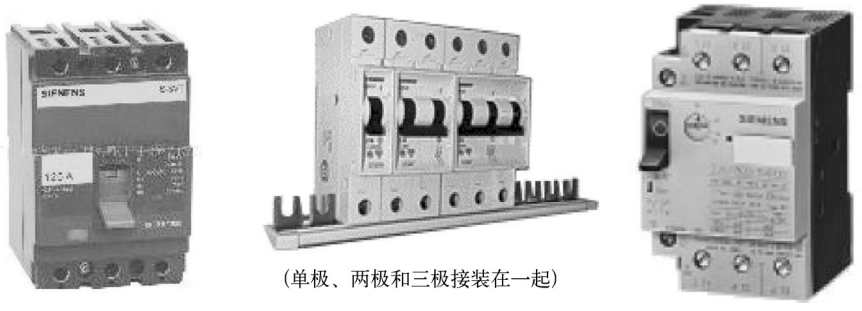


图 1-10　几种形式的断路器

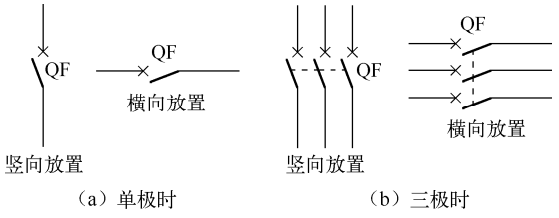


图 1-11　断路器的图形及文字符号

2．接触器

接触器是一种用来自动接通或断开大电流电路的电器。它可以频繁地接通或分断交直流负载电路，并可实现中远距离控制。其主要控制对象是电动机，也可用于电热设备、电焊机、电容器组等其他设备。它还具有低电压释放保护功能，并具有控制容量大、过载能力强、寿命长、设备简单经济等特点。接触器按操作方式分为电磁接触器、气动接触器和电磁气动接触器；按灭弧介质分为空气电磁接触器、油浸式接触器和真空接触器等。最常用的分类是按照主触点连接回路的形式来划分，即将接触器分为交流接触器和直流接触器两大类。在生产中应用最多的是电磁交流接触器。接触器一般由电磁线圈、衔铁，以及和衔铁相连的触点组成。图 1-12 所示为两种实际的交流接触外形图。在交流接触器上一般要有主触点端子、辅助触点端子和线圈端子，其多少根据具体应用选择。





图 1-12　交流接触器外形图

接触器的图形符号如图 1-13 所示。图 1-13（a）所示为其线圈；图 1-13（b）、（c）所示分别为其常开和常闭主触点；图 1-13（d）、（e）所示分别为其常开和常闭辅助触点，并分别标有相同的文字符号 KM，而辅助触点在实际电气控制线路中可能与主触点分开置于图中不同位置，读图时依靠其文字符号识别。

对于一个接触器，如果有 3 对主触点和 4 对辅助触点，则其中辅助触点有两对常开触点和两对常闭触点。在线圈无电流流过或复位状态，以及线圈有电流流过时，接触器主、辅触点的状态分别如图 1-13（f）、（g）所示。

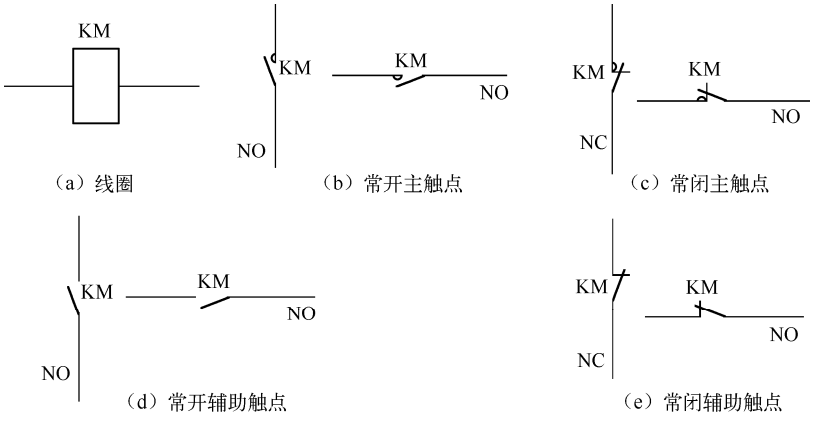
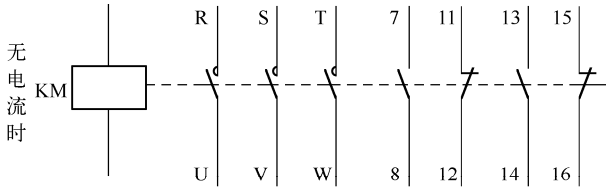
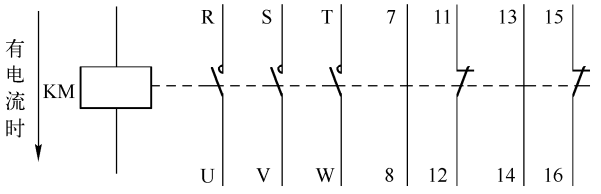


图 1-13　接触器图形及文字符号



（f）线圈无电流或复位



（g）线圈有电流

图 1-13　接触器图形及文字符号（续）

3．继电器

继电器是一种根据输入信号的变化接通和断开控制电路，实现控制目的的电器。继电器与接触器不同，不能用来直接接通和分断大电流负载电路，而主要用于电动机或线路的保护及生产过程顺序控制。一般来说，继电器通过测量环节输入外部信号（如电压、电流等电量，或者温度、压力、速度等非电量）并传递给中间机构，将它与整定值（设定值）进行比较，当达到整定值时（过量或欠量），中间机构就使执行机构产生输出动作，从而闭合或分断电路，达到控制电路的目的。在控制系统中，使用最多的是电磁继电器。这里主要介绍电磁继电器、热继电器和时间继电器等。

1）电磁继电器

电磁继电器中最常用的是中间继电器，图 1-14 所示为电磁继电器的外形图。电磁继电器的结构与电磁接触器相似，同时这种继电器一般都配有端子插座，继电器的底部引脚在插座上都有对应的端子。与外部电路连接时，通过端子接线连接。



图 1-14　电磁继电器的外形图

电磁继电器的图形符号和文字符号如图 1-15 所示。其特点是触点数量较多（可达 8 对），触点容量较大（5～10A），动作灵敏，在电路中起增加触点数量和触点容量放大作用。



（a）线圈　（b）常开触点　（c）常闭触点

图 1-15　电磁继电器符号

2）热继电器

热继电器常用于交流电动机的过载保护。热继电器在电路中不能做瞬时过载保护，更不能做短路保护。热继电器一般与接触器组合使用。图 1-16 所示为热继电器外形图。图 1-17 所示为热继电器的图形符号和文字符号。



图 1-16　热继电器外形图

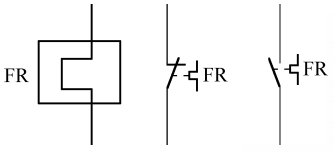


图 1-17　热继电器的图形符号和文字符号

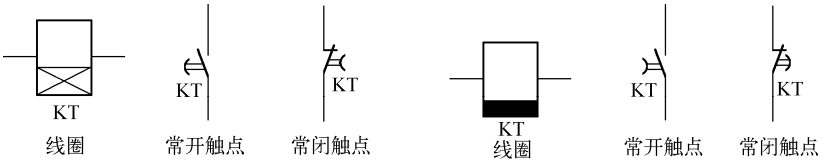
3）时间继电器

从线圈通电或断电开始，经过一定的延时后触点状态才发生变化的继电器，称为时间继电器。时间继电器可分为通电延时型和断电延时型。对于通电延时型，当线圈通电后要延迟一定时间，触点状态才发生变化；而当线圈断电时，触点瞬时复原。对于断电延时型，当线圈通电时，触点瞬时产生状态变化；而当线圈断电后，延迟一定的时间，触点状态才复原。时间继电器种类很多，常用的有电磁式、空气阻尼式、电动式和电子式等。图 1-18 所示为时间继电器的外形图，图 1-19 所示为时间继电器的文字与图形符号。



（a）电动式　（b）电子式　（c）空气阻尼式

图 1-18　时间继电器外形



（a）通电延时符号　（b）断电延时符号

图 1-19　时间继电器的文字与图形符号

4．熔断器

熔断器的主要作用是为电气设备及电线电缆提供过载与短路保护。图 1-20 所示为常用熔断器的外形图及其图形符号。在电气控制中应用熔断器的场合如下所述。

（1）小型断路器或塑壳式断路器进线的后备保护；

（2）在可能出现短时过载和短路的电动机回路中担负保护任务；

（3）开关电器，如接触器和电动机启动器的短路保护。

熔断器使用时要考虑额定电压、额定电流、极限分断能力和熔断电流等参数。



图 1-20　常用熔断器的外形图及其图形符号

5．主令电器

主令电器用来闭合和断开控制电路，用以控制电气设备的启动、停车、制动及调速等。主令电器可直接或通过电磁式电器间接作用于控制电路。在控制电路中，由于它是一种专门发布命令的电器，故称主令电器。主令电器不允许分合主电路。主令电器常用的有控制按钮、行程开关、接近开关、万能转换开关、主令控制器及其他主令电器，如脚踏开关、倒顺开关、紧急开关、钮子开关等。这里主要介绍旋钮、按钮和行程开关。

1）旋钮和按钮

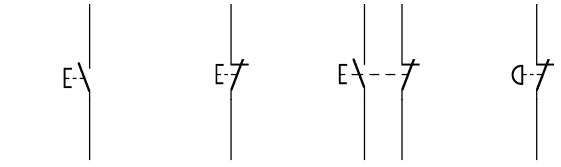
旋钮和按钮一般由触点座和钮头组成，作用是接通或断开控制回路，结构简单，是使用广泛的手动主令电器。按钮一般具有自动复位功能，在操作后，触点自动恢复为初始状态，可以进行点动操作。旋钮一般具有机械自锁装置，可以保持操作状态。图 1-21 和图 1-22 所示分别为按钮和旋钮的外形图。图 1-23 和图 1-24 所示分别为按钮和旋钮的图形符号。旋钮和按钮的文字符号用 SB 表示。



图 1-21　按钮外形图

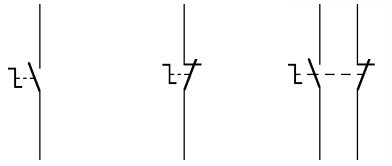


图 1-22　旋钮外形图



（a）常开触点　（b）常闭触点　（c）复式触点　（d）紧急停止

图 1-23　按钮的图形符号



（a）常开触点　（b）常闭触点　（c）复式触点

图 1-24　旋钮的图形符号

为便于识别各个按钮的作用，避免误操作，通常在按钮上做出不同标志或涂以不同颜色，常用的标志颜色有红、绿、黄、蓝、黑、白、灰等。按钮颜色的选用应注意以下 6 点。

（1）红色按钮用于“停止”、“断电”或“事故”。

（2）绿色按钮优先用于“启动”或“通电”，但也允许选用黑、白或灰色按钮。

（3）一钮双用的“启动”与“停止”或“通电”与“断电”，即交替按压后改变功能的，不能用红色按钮，也不能用绿色按钮，而应用黑、白或灰色按钮。

（4）按压时启动，抬起时停止启动（如点动、微动），应用黑、白、灰或绿色按钮，最好是黑色按钮，而不能用红色按钮。

（5）用于单一复位功能的，用蓝、黑、白或灰色按钮。

（6）同时有“复位”、“停止”与“断电”功能的用红色按钮。灯光按钮不得用做“事故”按钮。

2）行程开关

依照机械运动部件的行程发出命令以控制其运动方向或行程长短的主令电器，称为行程开关。若将行程开关安装于运动部件的行程终点处以限制其行程，则称为限位开关。因此，行程开关也称限位开关。按运动形式的不同，行程开关可分为直动式、微动式、滚轮式等。按信号的触发方式可分为接触式和非接触式两种。

● 接触式行程开关

接触式行程开关简称行程开关，其工作原理与按钮相同，所不同的是信号的触发方式。它不像控制按钮那样需要用手按压，而是利用机械运动部件的碰压而使触点动作，从而发出控制指令的主令电器。图 1-25 所示为常见接触式行程开关的外形图。图 1-26 所示为行程开关的图形符号。

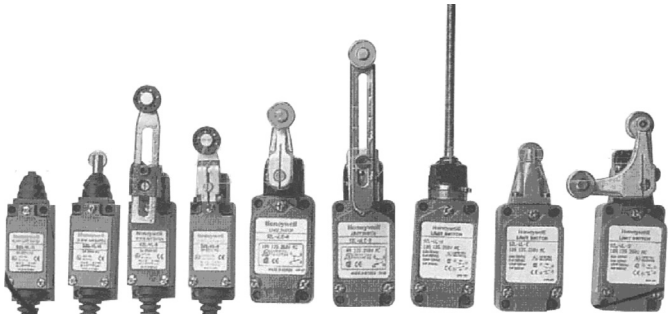
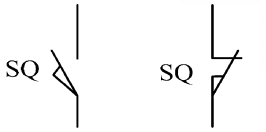


图 1-25　常见接触式行程开关的外形图



（a）常开触点　（b）常闭触点

图 1-26　接触式行程开关的图形符号

● 非接触式行程开关

接近开关又称无触点行程开关，它除可以完成行程控制和限位保护外，还是一种非接

触型的检测装置，用做检测零件尺寸和测速等，也可用于变频计数器、变频脉冲发生器、液面控制和加工程序的自动衔接等。其特点是工作可靠、寿命长、功耗低、复定位精度高、操作频率高，以及适应恶劣的工作环境等。接近开关可以分为有源和无源两种，多数为有源型，主要包括检测元件、放大电路、输出驱动三部分。图 1-27 所示为接近开关的外形图。图 1-28 所示为接近开关的图形符号。

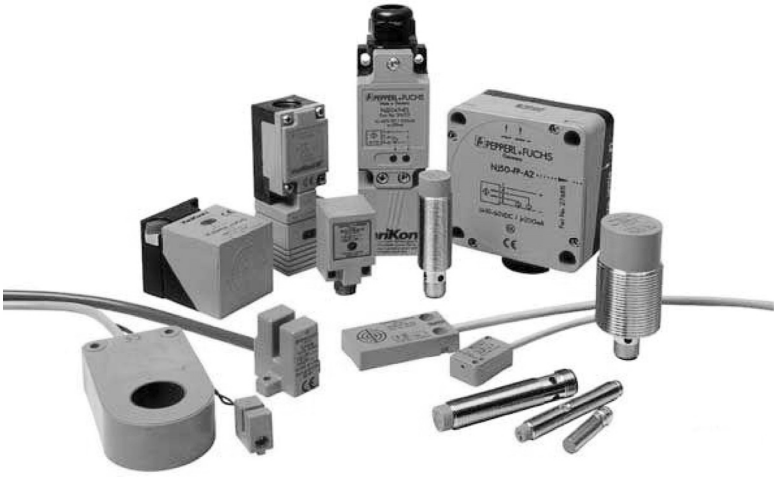


图 1-27　接近开关的外形图



（a）无源接近开关符号　（b）有源接近开关符号

图 1-28　接近开关的图形符号

非接触式行程开关可分为涡流式接近开关、电容式接近开关、霍尔接近开关、光电式接近开关、热释电式接近开关。无论选用哪种接近开关，都应注意对工作电压、负载电流、响应频率、检测距离等各项指标的要求。

1.5.2　电气控制线路的绘图规则

电气控制系统是由许多电气元件按照一定要求连接而成的，以实现对设备的电气自动控制。为了便于对控制系统进行设计、分析研究、安装调试、使用和维修，需要将电气控制系统中各电气元件及其相互连接，用国家规定的统一符号、文字和图形表示出来。这种图就是电气控制系统图。依据简单、清晰的原则，原理图采用电气元件展开的形式绘制。电气控制系统图一般有 3 种：电气原理图、电器位置图、电气互联图。下面着重介绍电气原理图的绘制。

1．绘制电气原理图的原则

绘制电气原理图时应遵循以下原则。

（1）各个电气元件和部件在控制电路中的位置，根据便于阅读的原则来安排，同一电气元件的各个部件可以不绘制在一起。

（2）一样的电气部件都用规定的图形符号表示，并在图形符号附近用文字符号标注它们属于哪个电器。

（3）图中电气元件触点的开、闭，均以没有受到外力作用或线圈没有通电时的开、闭

状态绘出，多位置电器以手柄置于零位时触点的开闭状态绘出，此时触点呈断开状态的称“常开触点”，触点呈闭合状态的称“常闭触点”；二进制元件应是置零时的状态。

（4）绘制电气原理图的图幅可按机械制图的图号，根据需要选用。如果需要加长的图纸，应采用加长图纸，如 A3×3（420×891）、A4×5（297×1051）。

（5）动力电路、控制和信号电路应分别绘出。

- 动力电路——电源电路绘成水平线；受电的动力设备（如电动机等）及其保护电器支路，应垂直电源电路绘出。
- 控制和信号电路——应垂直地绘于两条水平电源线之间。耗能元件（如线圈、电磁铁、信号灯等）应直接连接在接地或下方的水平电源线上，控制触点连接在上方水平线与耗能元件之间。

（6）为了便于检索分析、安装、维修调整和寻找故障，电气元件接线端均用标志编号，主电路图上用回路标号；辅助电路的电气连接线用数字编号。编号从左向右，从上到下，每经过一个元件改变一个号，依次编排，不能缺号，也不能重号。

（7）线路平行排列，各分支电路基本上按动作顺序由左向右排列，导线交叉的电气连接处用圆黑点或圆圈标明。

（8）用导线直接连接的互连端子，因其电位相同，故应采用相同的线号，互连端子的符号应与器件端子的符号有所区别。

（9）无论主电路还是辅助电路，各元件一般应按动作顺序从上到下、自左至右依次排列。

（10）原理图上各电路的安排应便于分析、维修和寻找故障．对功能相关的电气元件应绘制在一起，使它们之间关系明确。

（11）原理图应注出下列数据或说明。

- 各电源电路的电压值、极性或频率及相数。
- 某些元器件的特性（如电阻、电容器的数值等）。
- 不常用的电器（如位置传感器、手动触点、电磁阀或气动阀、定时器等）的操作方法和功能。

（12）原理图中有直接电联系交叉导线连接点，用实心圆点表示，无直接电联系的交叉点，则不绘制圆点。

（13）对非电气控制和人工操作的电器，必须在原理图上用相应的图形符号表示其操作方式及工作状态。由同一机构操作的触点，应用机械连杆符号表示其联动关系。各个触点的运动方向和状态必须与操作件动作方向协调一致。

（14）对与电气控制有关的机、液、气等装置，应用符号绘出简图，以表示其关系。

2．图面区域划分

为了便于检索电气线路，方便阅读电气原理图，应将图面划分为若干区域。图区的编号一般写在图的下部。图 1-29 所示为笼型电动机启动、停止电路。图面划分为了 6 个图区。图的上方设有用途栏，用文字注明该栏对应的下面电路或元件的功能，以利于理解原理图各部分的工作原理。

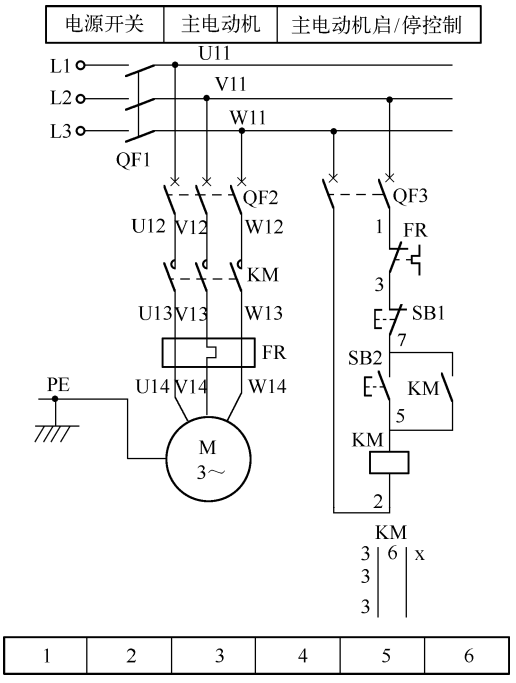


图 1-29　笼型电动机启动、停止电路

3．符号位置索引

由于接触器、继电器的线圈和触点在电气原理图中不是绘制在一起的，而触点是分布在图中所需的各个图区，为了读图方便，在接触器、继电器线圈的下方绘出其触点的索引表。

对于接触器，索引表中各栏含义如下：

左栏	中栏	右栏
主触点所在的图区号	辅助动合触点所在的图区号	辅助动断触点所在的图区号

对于继电器，索引表中备栏含义如下：

左栏	右栏
动合触点所在的图区号	动断触点所在的图区号

例如，在图 1-29 中，接触器 KM 的索引表，表示接触器 KM 有三对主触点均在 3 图区内；一对辅助动合触点在 6 图区内，没有使用辅助动断触点。

“x”表示没有使用辅助动断触点，有时也可以采用省去“x”的表示法。

1.5.3　电气控制线路的保护类型

在设计电气控制系统时，必须考虑相应的保护措施，才能保证设备在某些非正常状态或故障发生时，不致引起设备损坏或其他损失。常用的保护措施有短路保护、过载保护、过电流保护、欠电压保护等。

1．短路保护

常用的短路保护元件有熔断器和自动开关。

1）熔断器保护

熔断器的熔体串联在被保护的电路中，当电路发生短路或严重过载时，它自动熔断，从而切断电路，达到保护的目的。

2）自动开关保护

自动开关又称自动空气断路器，具有短路、过载和欠电压保护作用，这种开关能在线路产生上述故障时快速地自动切断电源。

通常熔断器比较适用于动作准确度和自动化程序较差的系统中，如小容量的笼型电动机、一般的普通交流电源等。在发生短路时，很可能造成一相熔断器熔断，从而造成单相运行，但对于自动开关，只要发生短路就会自动跳闸，将三相同时切断。自动开关结构复杂，操作频率低，广泛用于要求较高的场合。

2．过载保护

常用的过载保护元件是热继电器。在电动机控制回路中，当电动机工作在额定电流时，热继电器不动作；在过载电流较小时，热继电器要经过较长时间才动作；过载电流较大时，热继电器则经过较短时间就会动作。过载电流越大，达到允许温升的时间就越短。由于热继电器具有热惯性，热继电器不会受电动机实时过载冲击电流或短路电流的影响而瞬时动作，因此在使用热继电器作过载保护的同时，必须设有短路保护，并且选作短路保护的熔断器熔体的额定电流不应超过 4 倍热继电器发热元件的额定电流。

3．过电流保护

过电流保护广泛用于直流电动机或绕线转子异步电动机。对于三相笼型电动机，由于其短时过电流不会产生严重后果，因此不采用过电流保护而采用短路保护。

过电流往往是由于不正确的启动和过大的负载转矩引起的，一般比短路电流要小。在电动机运行中产生过电流要比发生短路的可能性更大，尤其是在频繁正/反转启制动的重复短时工作制动的电动机中更是如此。直流电动机和绕线转子异步电动机线路中过电流继电器也起着短路保护的作用，一般过电流动作时的强度值为启动电流的约 11.2 倍。

4．零电压、欠电压保护

当电动机正在运行时，如果电源电压因某种原因消失，那么在电源电压恢复时，电动机就将自行启动，这就可能造成生产设备的损坏，甚至造成人身事故。对电网来说，许多电动机及其他用电设备自行启动也会引起不允许的过电流及瞬间电压下降。为了防止电压恢复时电动机自行启动的保护称为零电压保护。

当电动机正常运转时，电源电压过分地降低将引起一些电气触点释放，造成控制线路不正常工作，可能产生事故。电源电压过分地降低也会引起电动机转速下降甚至停转。因此需要在电源电压降到一定允许值以下时将电源切断，这就是欠电压保护。

一般常用电压继电器实现欠电压保护。如图 1-30 所示，电压继电器 KZ 起零电压保护作用，在该线路中，当电源电压过低或消失时，电压继电器 KZ 就要释放，因为此时主令控制器 SA 不在零位（SA0 未闭合），所以在电压恢复时，KZ 不会通电动作，接触器 KM1 或 KM2 就不能通电动作。若使电动机重新启动，必须先将主令开关 SA 打回零位，使触点

SA0 闭合，KZ 通电动作并自锁，然后再将 SA 打向正向或反向位置，电动机才能启动。这样就通过 KZ 继电器实现了零电压保护。此外，在图 1-30 中使用的电动机常用保护线路还有短路保护：熔断器 FU；过载保护（热保护）：热继电器 FR；过电流保护：过电流继电器 KA1、KA2；零电压保护：电压继电器 KZ；低电压保护：欠电压继电器 KV；互锁保护：通过正向接触器 KM1 与反向接触器 KM2 的常闭触点实现。

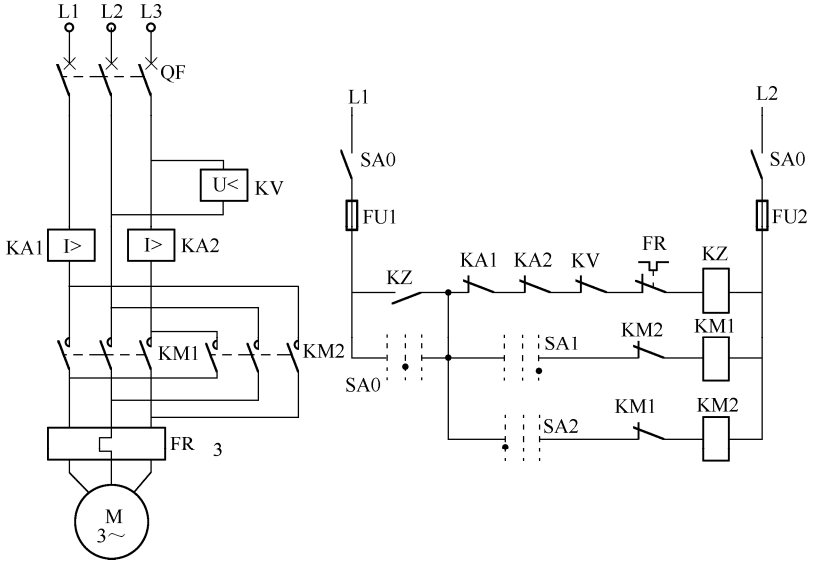


图 1-30　电动机控制线路及常用保护

5．其他保护

在控制电路中因断相或相序错误均可影响电动机的正常运行，甚至造成设备损坏。电动机断相运行时容易导致烧毁，因此，在控制电路中增加断相保护对电动机的正常运行是很有好处的。图 1-31 所示为具有断相保护的控制电路。该电路中有断路器 QF、熔断器 FU、启动按钮 SB1、停止按钮 SB2、热继电器 FR 及其触点、中间继电器 KA1、交流接触器 KM 等。当合上开关 QF，按下 SB1 启动按钮后，KA1 线圈得电吸合，其常开触点闭合后自锁，交流接触器 KM 线圈得电也吸合，电动机得电。如果 L1 相或 L2 相因故障断相，则 KM 线圈失电，其主触点使电动机电源断开电动机停止运转；若 L3 相断相，则中间继电器 KA1 线圈失电，其闭合的常开触点使接触器 KM 线圈失电，同样使电动机停止运转，也起到断相保护作用。

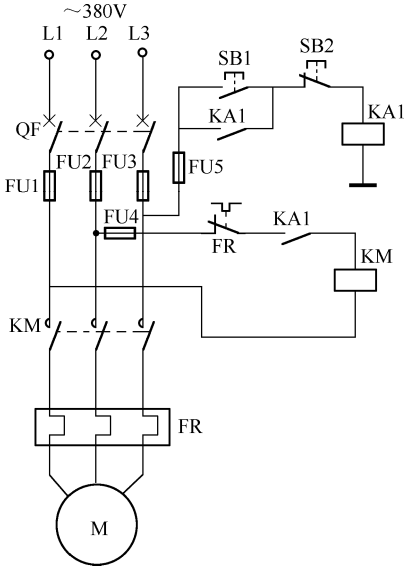


图 1-31　简易断相保护电路

图 1-32 所示为具有断相与相序保护继电器保护的控制电路。断相与相序保护继电器采用集成电路电压取样方式，集成电路电压取样方式保护具有与被保护

电动机功率大小、电流等级无关的特点，能在电动机启动前、运行中发生的任意断相、错相等故障时起到保护作用。此外，当三相电压不对称度大于 13%时也能动作，起到保护作用。

电动机控制电路主要由按钮 SB1、SB2，接触器 KM 和 KJ 断相及相序保护继电器组成， SB1、SB2 控制电动机的运行和停止，KJ1 和 KJ2 分别为其常开和常闭触点。电源正常时继电器 KJ 处于吸合状态，若电动机在运行时由于某种原因断相，KJ 立即释放，KJ1 断开，接触器 KM 释放，切断电动机电源，从而起到保护电动机的作用。同时 KJ2 接通，指示灯 HL 亮，蜂鸣器 HA 响。在电动机启动前电源若有断相、错相等不正常情况，保护电路也可防止电动机启动，并能报警提示。

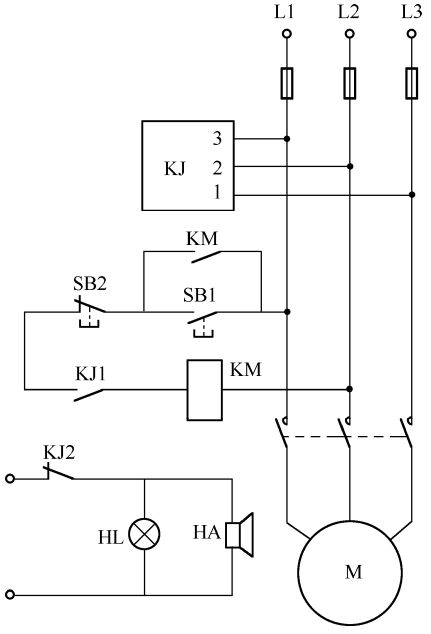


图 1-32　具有断相与相序保护继电器保护的控制电路

思考题

1．什么是可编程控制器？它的发展经历了哪几个阶段？它有哪些主要特点？
2．可编程控制器是如何进行分类的？
3．可编程控制器的结构形式有哪些？各有哪些特点？
4．PLC 有哪些常用的编程语言？
5．简述 PLC 的发展趋势。
6．简述电气控制线路的绘图规则。
7．电气控制线路的保护类型有哪些？

第 2 章　认识三菱 PLC

三菱公司生产的 FX 系列 PLC 主要由主机单元模块和各型扩展单元或模块组成，品种齐全，功能强大，性能优越，可以近乎完美地满足各种控制系统的控制要求，有很高的市场认可度。本章分别以三个典型的应用实例讲述三菱 PLC 的硬件组成、工作原理及用户程序开发过程。

2.1　认识三菱 PLC 的硬件

实例 1：单输入/单输出控制

实例说明

本实例主要实现指示灯的控制。通过本实例，认识三菱 PLC 主要实现的功能。

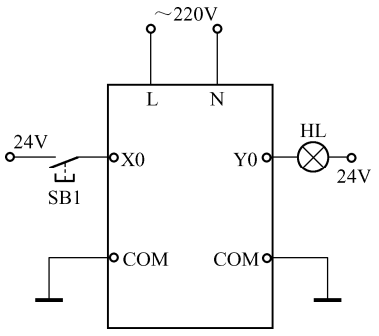


图 2-1　PLC 单输入/单输出控制系统的接线图

实例实现

图 2-1 所示为最基本的 PLC 单输入/单输出控制系统的接线图。它由一个按钮、一个指示灯和一台 PLC 主机模块组成。最简单的情况是，当按下按钮时，指示灯亮；松开按钮时，指示灯灭。

实例分析

从 PLC 的接线图中可以看出，PLC 模块连接了输入和输出，处于核心地位。

2.1.1　三菱 PLC 的基本结构

三菱 PLC 的基本结构与其他品牌型号的 PLC 基本结构基本相同，其典型结构如图 2-2 所示。三菱 PLC 采用了典型的计算机结构，主要由主机、I/O 扩展接口及外围设备组成。PLC 主机由中央处理器（CPU）、存储器（Memory）、输入/输出（I/O）接口、扩展接口、通信接口和电源等部分组成。

1．中央处理器（CPU）

CPU 是 PLC 的核心部件，是 PLC 的运算和控制中心，PLC 的工作过程都是在 CPU 的统一指挥和协调下进行的。CPU 由微处理器和控制器组成，可以实现逻辑运算和数学运算，协调控制系统内部各部分的工作。它的运行是按照系统程序所赋予的任务进行的。PLC

大多用 8 位或 16 位微处理器。控制器控制整个微处理器的各部件有条不紊地进行工作，其基本功能就是从内存中读取指令和执行指令。

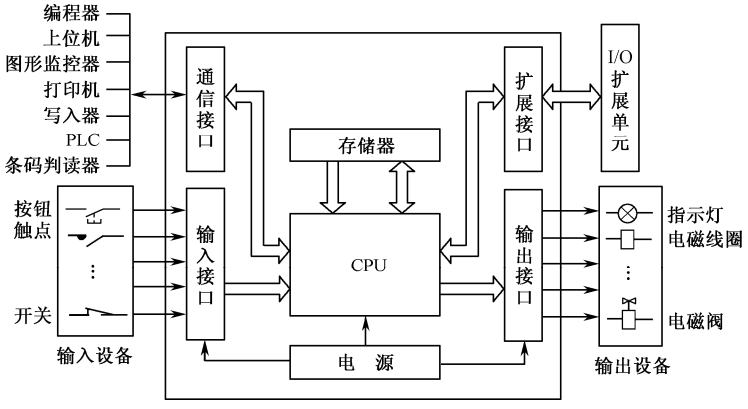


图 2-2　PLC 的典型结构

2．存储器

PLC 的存储器有保持型存储器、随机存取存储器和存储器卡等类型，用于存放 PLC 系统程序、用户程序和运行数据。保持型存储器用于存放 PLC 的系统程序和编好的用于控制运行的用户程序，可长时间存储。随机存取存储器用于存放用户临时程序和数据，存储的内容会因掉电而丢失。存储器卡为扩展与后备用存储器，由用户根据需要选配。

3．输入/输出（I/O）接口

输入/输出接口通常称为 I/O 接口，也称输入/输出端子或 I/O 端子，是 PLC 与工业过程控制现场之间的连接部件。PLC 通过输入接口能够得到生产过程的各种参数，并向 PLC 提供开关信号量，经过处理后，变成 CPU 能够识别的信号。PLC 通过输出接口将处理结果送给被控制对象，以实现对工业现场执行机构的控制目的。由于外部输入设备和输出设备所需的信号电平是多种多样的，而 PLC 内部 CPU 处理的信息只能是标准电平，因此 I/O 接口必须能实现电平转换。

输入接口的作用是把现场的按钮、各种开关或传感器等信号转变成 PLC 内部可处理的标准信号。常用的输入接口按其使用电源不同可以分成三种类型，即直流输入接口、交流输入接口和交—直流输入接口。输入接口采用光耦合电路，如图 2-3 所示，它可以大大减少强电和电磁干扰。

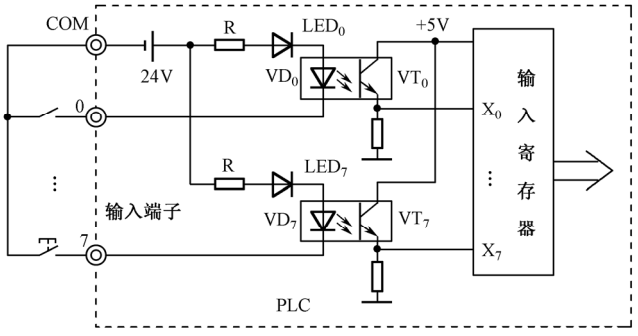


图 2-3　直流输入接口

输出接口的作用是将 PLC 内部的标准信号转换为外部现场执行机构所需要的电开关量输出信号。PLC 的输出接口也采用光耦合电路设计，按 PLC 内部所使用的功率放大元器件不同可分为晶体管型、晶闸管型及继电器型。

晶体管型输出接口用于驱动直流负载。晶体管输出单元的驱动电路一般采用晶体管进行驱动放大，其输出方式一般为集电极输出，外加直流负载电源。对于带负载能力，每个输出点流过的电流约为 1A，每个模块流过的电流约为 3A。晶体管开关量输出模块为无触点输出模块，使用寿命较长。图 2-4 所示为晶体管集电极输出电路，线框内为 PLC 内部的输出电路，框外右侧为外部用户连接线。各组的公共点接外接直流电源的正（负）极。输出信号送给内部电路中的输出锁存器，再经光耦合器送给输出晶体管，后者的饱和导通状态和截止状态相当于触点的接通和断开。图 2-4 中的稳压管用来抑制关断过电压和外部的浪涌电压，以保护晶体管，晶体管输出电路的延迟时间小于 1ms。场效应晶体管输出电路的结构与晶体管输出电路基本相同。

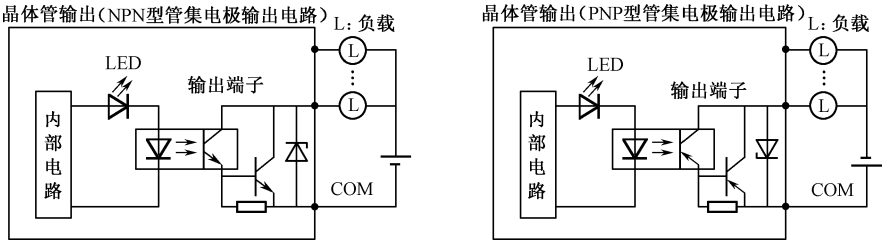


图 2-4　晶体管集电极输出电路

晶闸管型输出接口用于驱动交流负载。图 2-5 所示为晶闸管型输出电路。它采用的开关器件是光控双向晶闸管，采用光控双向晶闸管进行驱动放大。图中电阻和电容组成开关保护；压敏电阻清除尖峰电压，起限电压作用。该模块外加交流负载电源，对于带负载能力，一般每个输出点流过的电流约为 1A，每个模块流过的电流为 4A。双向晶闸管为无触点开关，输出的负载电源可以根据负载的需要选用直流或交流电源。双向晶闸管多用于交流负载，负载驱动能力强于继电器型晶闸管，可直接驱动小功率接触器。晶闸管型输出电路其响应时间介于晶体管型与继电器型之间。

继电器型输出接口既可以驱动交流负载又可以驱动直流负载。图 2-6 所示为继电器型输出电路。内部电路使继电器的线圈通电，常开触点闭合，使外部负载得电工作。继电器同时起隔离和功率放大作用，每一路只给用户提供一对常开触点。继电器型输出电路的滞后时间一般约为 10ms。

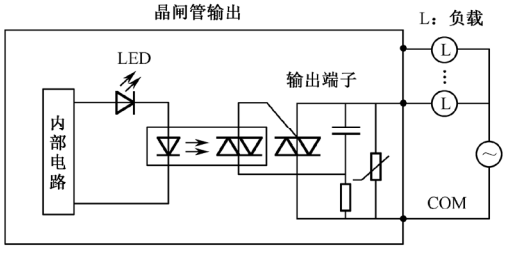


图 2-5　晶闸管型输出电路

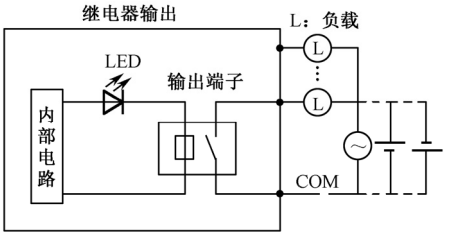


图 2-6　继电器型输出电路

总之，在 I/O 接口电路中一般都具有光隔离和滤波功能，以提高 PLC 的抗干扰能力，实现外部现场的各种信号与系统内部统一信号的匹配和信号的正确传递。另外，I/O 接口上通常还有状态指示灯，直观显示工作状况，便于维护。

4．扩展接口

扩展接口用来扩展 PLC 的 I/O 端子数。当用户所需要的 I/O 端子数超过 PLC 基本单元的 I/O 端子数时，即主机单元（带 CPU）的 I/O 端子数不能满足 I/O 设备端子数需要时，可通过此接口用扁平电缆线将 I/O 扩展接口（不带有 CPU）与主机单元相连接，以增加 PLC 的 I/O 端子数，适应控制系统的要求。其他很多的智能单元也通过该接口与主机相连，PLC 的扩展能力主要受 CPU 寻址能力和主机驱动能力的限制。

5．通信接口

PLC 配有各种通信接口，如 RS—232C、RS—422 和 RS—485 等接口，这些通信接口有的需要通信处理器。PLC 通过这些通信接口可与图形监视器、编程器、打印机、写入器、其他 PLC、上位机、条形码判读器等设备实现通信。

6．电源

PLC 的电源是指把外部供应的交流电源经过整流、滤波、稳压处理后转换成满足 PLC 内部的 CPU、存储器和 I/O 接口等电路工作所需要的直流电源电路或电源模块。三菱各型号的 PLC 的供电电压有直流 12V 和 24V，也有交流 110V 和 220V。

2.1.2 三菱 FX 系列 PLC 的主机模块

三菱 FX 系列 PLC 的主机模块将一个微处理器、一个电源和一定数量的 I/O 端子集成封装在一个独立、紧凑的设备中，从而形成了一个功能强大的微型 PLC。由于主机模块中封装了负责执行程序和存储数据的微处理器，因此也常被称为基本单元。本节以三菱 FX_{2N}—32MR 基本单元为例，介绍三菱 FX 系列 PLC 的主机，其外观面板布置如图 2-7 所示。

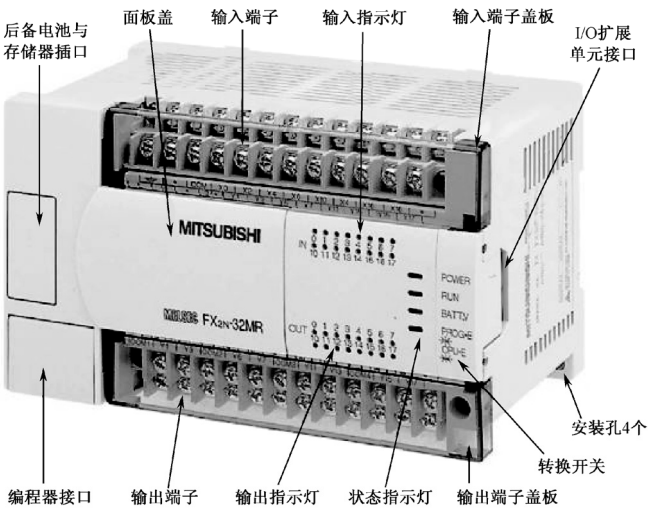


图 2-7　三菱 FX_{2N}—32MR 基本单元面板布置

输入端子和输出端子是系统的控制点，输入部分从现场设备（如开关、按钮、传感器等）中采集信号；输出部分则控制灯、继电器、泵、电动机及工业过程中的其他设备。在前面板左上角有后备电池与存储器插口，后备电池在 PLC 突然掉电时延长 RAM 中的数据存储时间，存储器插口插入 E^2PROM 存储卡可扩展 PLC 的存储量。左下角有 RS—232C、RS—422 等编程器接口，通过连接专用编程器或计算机对 PLC 进行编程输入、读取等。电源和适配器接口在图中未显示，CPU 模块通过它们获得工作电流，PLC 可以接交流 100V/240V 或直流 12V/24V 电源作为工作电源。需要注意的是，一个主机模块的电源只能接交流电源或接直流电源，适配器接口用于连接各种特殊适配器。

在前面板右下角是 PLC 的工作模式（RUN/STOP）选择开关，PLC 有 RUN 和 STOP 两种工作模式。只有在 RUN 模式时，用户编写的程序才会被执行。所以可通过选择开关来控制用户程序的执行。随着控制系统规模和功能的增加，一个主机模块往往满足不了需要，这时可以通过位于右侧的 I/O 扩展单元接口进行扩展，以提升 PLC 的控制能力和通信能力。图 2-8 所示为 FX 系列 PLC 控制系统由基本单元（主机）和各种扩展单元或模块连接的一种形式。

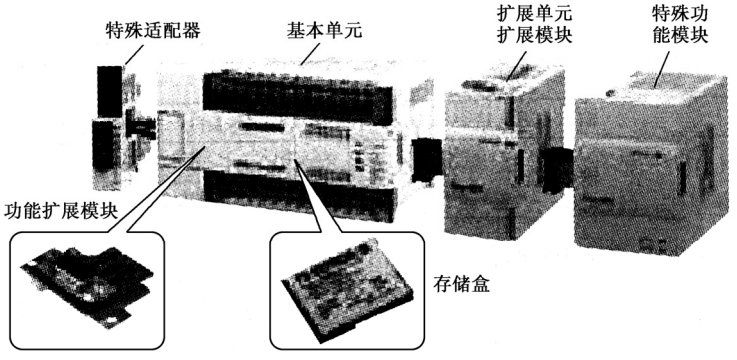


图 2-8　FX 系列 PLC 基本单元、扩展单元和扩展模块

三菱 FX 系列 PLC 主机的型号和规格较多，可以适应不同需求的控制场合。目前，该系列中主流的主机模块有 FX_{1S}、FX_{1N}/FX_{1NC}、FX_{2N}/FX_{2NC}、FX_{3U}/FX_{3UC} 等模块。FX 系列产品指令丰富、速度快、具有较强的通信能力。该系列主机模块的基本性能指标如表 2-1 所示。三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的扩展单元本身没有 CPU，只能与基本单元连接使用，用于扩展 I/O 端子数，增强控制功能。三菱 FX 系列 PLC 常用 I/O 扩展单元、扩展模块、功能扩展板型号及输入/输出端子数的分配如表 2-2～表 2-5 所示。

表 2-1　基本性能指标

基 本 单 元		FX_{1S}	FX_{1N}/FX_{1NC}	FX_{2N}/FX_{2NC}	FX_{3U}/FX_{3UC}
电源		AC100～240V 或 DC24V	AC100～240V 或 DC12V/24V	AC100～240V 或 DC24V	AC100～240V 或 DC12V
本机数字量 I/O		40 端子以下	128 端子以下	256 端子以下	384 端子以下
存储器容量（KB）		2	8	16	64
运转处理时间	基本指令	0.55～0.7μs	0.55～0.7μs	0.8μs	0.065μs
	应用指令	3.7～数百 μs	3.7～数百 μs	1.52～数百 μs	0.642～数百 μs

续表

基本单元		FX_{1S}	FX_{1N}/FX_{1NC}	FX_{2N}/FX_{2NC}	FX_{3U}/FX_{3UC}
辅助继电器（M 线圈）	一般	M0～M383	M0～M383	M0～M499	M0～M499
	锁定	M384～M511	M384～M1535	M500～M3071	M500～M7679
	特殊	M8000～M8255	M8000～M8255	M8000～M8255	M8000～M8511
状态继电器（S 线圈）	初始	S0～S9	S0～S9	S0～S9	S0～S9
	一般	S10～S127	S10～S127	S10～S499	S10～S499
	锁定	S0～S127	S128～S899	S500～S899	S500～S4095
	信号报警器	×	×	S900～S999	×
定时器（T）	100ms	T0～T62	T0～T199	T0～T199	T0～T199、T250～T255
	10ms	T32～T62（M8028 为“1”）	T200～T245	T200～T245	T200～T245
	1ms 保持型	T63	T246～T249	T246～T249	T246～T249、T256～T512
计数器（C）	一般 16 位	C0～C15	C0～C15	C0～C99	C0～C99
	锁定 16 位	C16～C31	C16～C199	C100～C199	C100～C199
	一般 32 位	×	C200～C199	C200～C219	C200～C219
	锁定 32 位	×	C220～C234	C220～C234	C220～C234
高速计数器（C）	单相	C235～C255	C235～C238	C235～C240	C235～C240
	单相 c/w 起始、停止输入	×	C241、C242 和 C244	C241～C245	C241～C245
	双相	×	C246、C247 和 C249	C246～C250	C246～C250
	A/B 相	×	C251、C252 和 C254	C251～C255	C251～C255
数据寄存器（D）	一般	D0～D127	D0～D127	D0～D199	D0～D199
	锁定	D128～D255	D128～D7999	D200～D7999	D200～D7999
	文件	D1000～D2499	D1000～D7999	D1000～D7999	D1000～D7999
	外部调节	×	D8030 和 8031	D1000～D7999	D1000～D7999
	特殊	D8000～D8255	D8000～D8255 和 D8013、D8030、D8031	D8000～D8255	D8000～D8511
	变址	V0～V7、Z0～Z7	V0～V7、Z0～Z7	V0～V7、Z0～Z7	V0～V7、Z0～Z7
指针	跳转用	P0～P63	P0～P127	P0～P127	P0～P4095

表 2-2　FX 系列 PLC 常用 I/O 扩展单元型号及输入/输出端子数的分配

型号			连接 PLC						输入端子	输出端子	扩展模块可用端子数
继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{1NC}	FX_{2N}	FX_{2NC}	FX_{3U}/FX_{3UC}			
FX_{2N}—32ER	FX_{2N}—32ES	FX_{2N}—32ET	×	○	×	○	×	×	16	16	24～32
FX_{2N}—48ER	—	FX_{2N}—48MT	×	○	×	○	×	×	24	24	48～64
FX_{0N}—40ER	—	FX_{0N}—40ET	×	○	×	×	×	×	24	16	16～24

注：“○”代表有此功能，“×”代表无此功能，“—”代表没有；以下表中相应符号含义与此处相同。

表 2-3　FX_{2N} 系列 PLC 常用 I/O 扩展模块型号及输入/输出端子数的分配

型　　号			输入端子	输出端子
输　　入	晶闸管输出	继电器输出		
FX_{2N}—16EX	—	—	16	—
FX_{2N}—16EYR	FX_{2N}—16EYS	FX_{2N}—16EYT	—	16

表 2-4　FX 系列 PLC 常用 I/O 混合扩展模块型号及输入/输出端子数的分配

型　　号		连接 PLC						输入端子	输出端子
继 电 器	晶 体 管	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{1NC}	FX_{2N}	FX_{2NC}	FX_{3U}/FX_{3UC}		
FX_{0N}—8ER	—	×	○	○	○	○	○	4	4
—	FX_{2N}—8EX	×	○	○	○	○	○	8	—
FX_{0N}—16ER	FX_{2N}—16EX	×	○	○	○	○	○	16	—
—	FX_{2N}—16EX—C 连接器输入	×	○	○	○	○	○	16	—
—	FX_{2N}—16EXL—C 连接器输入	×	○	○	○	○	○	16	—

表 2-5　FX 系列 PLC 常用功能扩展板及输入/输出端子数的分配

型　　号	连接 PLC						输入端子	输出端子
	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{1NC}	FX_{2N}	FX_{2NC}	FX_{3U}/FX_{3UC}		
FX_{1N}—4EX—BD	○（2.0 以上）		×	×	×	×	4	—
FX_{1N}—2EYT—BD 晶体管			×	×	×	×	—	2

2.1.3　三菱 PLC 的 I/O 接线

下面以 FX_{2N}—48MR 继电器模块的数字量输入/输出单元的接线为例，来说明三菱 FX 系列 PLC 的 I/O 接线。FX_{2N}—48MR 是指该 PLC 主机的型号，“FX_{2N}”是指三菱 PLC 系列名称，“48”是指该型号 PLC 输入/输出端子数，“M”是指基本单元，“R”是指该主机输出模块的类型为晶体管输出。除此之外，数字量输出模块还有直流和交流两种类型。因此，可以根据控制对象的需要灵活配置 I/O 模块的类型。图 2-9 所示为 FX_{2N}—48MR 继电器模块接线图。

FX_{2N}—48MR 单元共有 24 个数字量输入端子和 24 个数字量输出端子。其中，24 个输入端子为一组，共用公共端 COM。N、L 两个端子提供直流 24V/400mA 传感器电源，可以作为传感器的电源输出，也可以作为输入端的检测电源使用。24 个数字量输出端子分成五组：第一组由输出端子 Y0～Y3 共 4 个输出端子与公共端 COM1 组成；第二组由输出端子 Y4～Y7 共 4 个输出端子与公共端 COM2 组成；第三组由输出端子 Y10～Y13 共 4 个输出端子与公共端 COM3 组成；第四组由输出端子 Y14～Y17 共 4 个输出端子与公共端 COM4 组成；第五组由输出端子 Y20～Y27 共 8 个输出端子与公共端 COM4 组成。每个负载的一端与输出端子相连，另一端经电源与公共端相连，由于是继电器输出方式，因此既可带直流负载，也可以带交流负载。负载的激励源由负载性质确定。

其他规格的主机模块和扩展模块的接线与之类似。

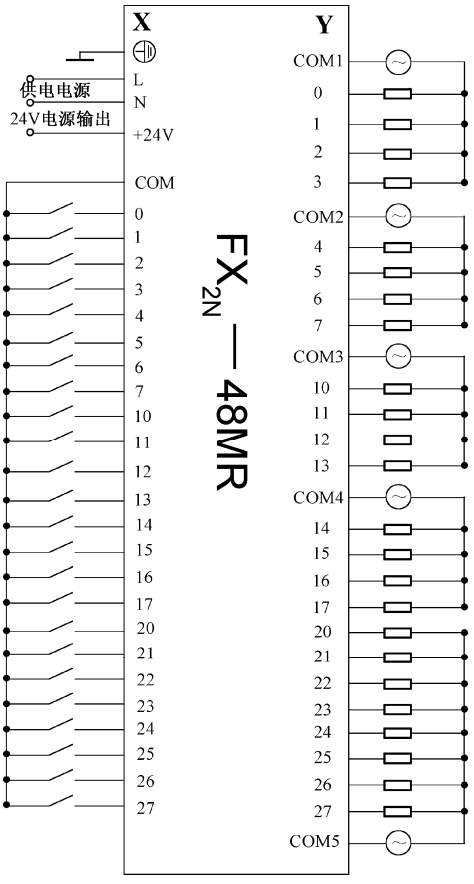


图 2-9　FX_{2N}—48MR 继电器模块接线图

2.2　理解三菱 PLC 的工作原理

实例 2：加电输出禁止程序

实例说明

在实际控制工程中，可能遇到突发停电的情况。在恢复供电时，控制环境可能仍处于原先的电工作状态，从而会使相应的设备立即恢复工作，这极易引发设备动作逻辑错乱，甚至发生严重事故。为了避免这种情况的发生，PLC 控制程序中需要对一些关键设备的控制端口（PLC 输出端口）做复电输出禁止控制。

实例实现

加电输出禁止程序运用了三菱 PLC 的特殊辅助继电器 M8002，M8002 为加电接通一个扫描周期，使 M10 置位为“1”，Y010 和 Y011 无论在 X020、X021 处于什么状态，均无输

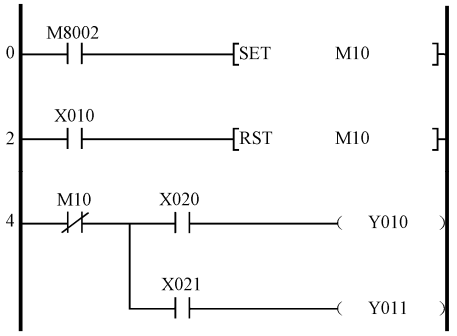


图 2-10　加电输出禁止程序

出，该程序如图 2-10 所示。

实例分析

由普通继电器控制电路的工作原理可知，继电器控制电路梯形图中各命令行是并列执行的，加电输出禁止程序反映了 PLC 程序（用户程序）执行时不是并列执行的，而是按先后顺序执行的。

那么 PLC 程序是如何执行的呢？要回答这个问题就需要先理解 PLC 的工作原理，这对于正确编制 PLC 控制程序是至关重要的。

2.2.1　PLC 的工作原理

PLC 的工作原理可以简单地表述为在系统程序的管理下，通过运行应用程序，对控制要求进行处理判断，并通过执行用户程序来实现控制任务。但是，在时间上，PLC 执行的任务是按串行方式进行的，其具体的运行方式与继电器—接触器控制系统及计算机控制系统都有着一定的差异。

1．循环扫描的工作原理

PLC 的一个工作过程一般有五个阶段：内部处理阶段、通信处理阶段、输入采样阶段、程序执行阶段和输出刷新阶段。当 PLC 开始运行时，首先清除 I/O 映像区的内容，其次进行自诊断，然后与外部设备进行通信连接，确认正常后开始扫描。对每个用户程序，CPU 从第一条指令开始执行，按指令步序号做周期性的程序循环扫描，如果无跳转指令，则从第一条指令开始逐条执行用户程序，直至遇到结束符后又返回第一条指令，如此周而复始不断循环。因此，PLC 的工作方式是一种串行循环工作方式，如图 2-11 所示。

（1）内部处理阶段。在这一阶段，CPU 监测主机硬件、用户程序检查、存储器校验、I/O 模块的状态并清除 I/O 映像区的内容等，即 PLC 进行各种错误检测（自诊断功能），若自诊断正常，继续向下扫描。

（2）通信处理阶段。在通信处理阶段，CPU 自动监测并处理各种通信端口接收到的任

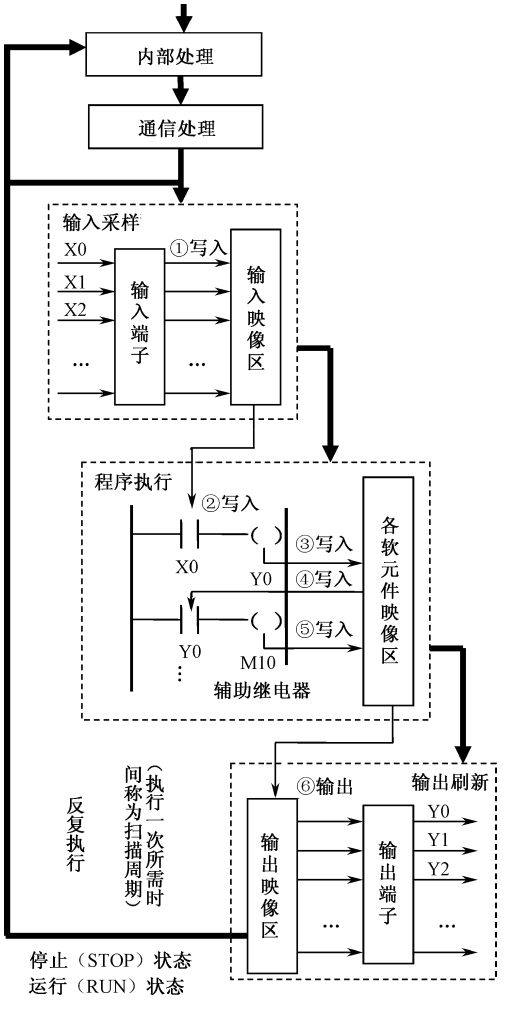


图 2-11　PLC 的循环扫描过程

何信息，即检查是否有编程器、计算机或上位 PLC 等通信请求，若有，则进行相应处理，完成数据通信任务。例如，PLC 接收编程器送来的程序、命令和各种数据，并把要显示的状态、数据、出错信息发送给编程器进行显示，这称为“监视服务”，一般在程序执行后进行。

（3）输入采样阶段。在输入采样阶段，PLC 首先扫描所有的输入端子，按顺序将所有输入端的输入信号状态（0 或 1 表现在接线端上是否在承受外加电压）写入映像寄存区。这个过程称为对输入信号的采样，或者称输入刷新阶段。完成输入端刷新工作后，将关闭输入端口，转入下一步工作过程，即程序执行阶段。在程序执行期间，即使输入端状态发生变化，输入状态寄存器的内容也不会发生改变，而这些变化必须等到下一个工作周期的输入刷新阶段才能被写入。

（4）程序执行阶段。程序执行阶段又称程序处理阶段，是 PLC 对程序按顺序执行的过程。在程序执行阶段，PLC 根据用户输入的控制程序，从第一条指令开始逐条执行，并将相应的逻辑运算结果存入对应的内部辅助寄存器和输出状态寄存器。只有输入映像寄存区存放的输入采样值不会发生改变，其他各种数据在输出映像寄存器区或系统 RAM 存储区内的状态和数据都有可能随着程序的执行随时发生改变。前面执行的结果可能被后面的程序所用到，从而影响后面程序的执行结果；而后面执行的结果不可能改变前面的扫描结果，只有到了下一个扫描周期再次扫描前面程序时，才有可能起作用。但是，在扫描过程中，如果遇到程序跳转指令，就会根据跳转条件是否满足来决定程序的跳转地址。当指令中涉及输入/输出状态时，PLC 从输入映像寄存器中“写入”上一阶段存入的对应输入端子状态，从输出映像寄存器“写入”对应输出映像寄存器的当前状态。然后，进行相应的运算，运算结果再存入元件映像寄存器中。对于元件映像寄存器来说，每一个元件（输出软继电器的状态）都会随着程序执行过程而变化。当最后一条控制程序执行完毕后，即转入输出刷新阶段。

（5）输出刷新阶段。当程序中所有指令执行完毕后，PLC 将输出状态寄存器中所有输出继电器的状态，依次送到输出锁存电路，并通过一定输出方式输出，驱动外部负载，这就形成了 PLC 的实际输出。

在上述五个阶段中，内部处理、通信处理为 PLC 公共处理部分，与用户程序的执行无直接关联；输入采样、程序执行和输出刷新是 PLC 执行用户程序的三个主要阶段，这三个阶段构成 PLC 一个工作周期，并循环执行，这就是 PLC 循环扫描工作方式的由来。由此可以总结出 PLC 在扫描过程中信号的处理规则。

2．PLC 的信号处理规则

（1）输入映像区中的数据取决于本扫描周期输入采样阶段所处的状态。在程序执行和输出刷新阶段，输入映像区中的数据不会因为有新的输入信号而发生改变。

（2）输出映像区中的数据由程序中输出指令的执行结果决定。在输入采样和输出刷新阶段，输出映像区的数据不会发生改变。

（3）输出端子直接与外部负载连接，其状态由输出状态寄存器中的数据来确定。

3．PLC 的工作状态

由 PLC 的循环扫描工作过程可知，三菱 PLC 有运行（RUN）与停止（STOP）两种工

作状态。图 2-11 给出了运行和停止两种状态下 PLC 不同的扫描过程，在这两个不同的工作状态中，扫描过程所要完成的任务是不尽相同的。

（1）运行（RUN）状态。运行状态是执行应用程序的状态，此时不能向 PLC 写入程序。PLC 置于运行状态时，加电后，PLC 自动运行，反复执行反映控制要求的用户程序来实现控制功能，直至 PLC 停机或切换到停止（STOP）工作状态。PLC 处于运行（RUN）状态时，共完成 PLC 一个工作过程的 5 个阶段的操作。

（2）停止（STOP）状态。停止状态使 PLC 处于用户程序运行停止状态，此时 PLC 仍将进行内部处理和通信处理两阶段内容，PLC 检查 CPU 模块内部的硬件是否正常，将监控定时器复位，以及完成一些其他内部工作，同时处理各种编程器的通信请求并显示相关内容。此状态一般用于程序的编制与修改。

4．扫描周期和响应时间

PLC 在运行状态时，执行一次扫描操作（5 个阶段的工作过程）所需的时间称为扫描周期，它是 PLC 的重要指标之一，其典型值为 0.5～100ms。扫描周期 T=（输入一点时间×输入端子数）+（指令执行速度×指令条数）+（输出一点时间×输出端子数）+自检时间+通信时间。

可见，扫描周期的长短主要取决于以下 3 个因素：CPU 执行指令的速度；执行每条指令占用的时间；程序中指令条数的多少。指令执行所需的时间与用户程序的长短、指令的种类和 CPU 执行速度有很大关系。一般来说，一个扫描过程中，自检时间、通信时间、输入采样和输出刷新所占时间较少，执行指令的时间占了绝大部分。

PLC 的响应时间是指从 PLC 外部输入信号发生变化的时刻起，到由它控制的有关外部输出信号发生变化的时刻之间的间隔，也称为滞后时间（通常滞后时间为数十毫秒）。它由输入电路的时间常数、输出电路的时间常数、用户程序语句的安排和指令的使用、PLC 的循环扫描方式及 PLC 对 I/O 的刷新方式等部分组成。这种现象称为 I/O 延迟响应或滞后现象。

PLC 的这种周期循环扫描工作方式，决定了响应时间的长短与收到输入信号的时刻有关。响应时间可以分为最短响应时间和最长响应时间。

（1）最短响应时间。如果在一个扫描周期刚结束前收到一个输入信号，在下一个扫描周期前进入输入采样阶段，这个输入信号就被采样，使输入更新，这时响应时间最短，如图 2-12 所示。最短响应时间=输入延迟时间+一个扫描周期+输出延迟时间。

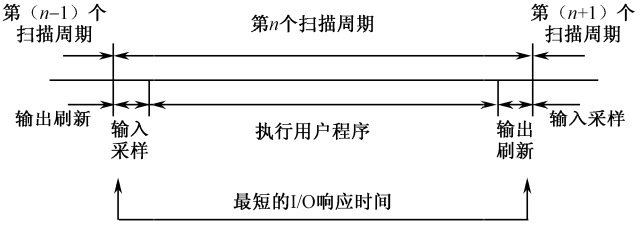


图 2-12　PLC 的最短响应时间

（2）最长响应时间。如果收到一个输入信号经输入延迟后，刚好错过 I/O 刷新的时间，在该扫描周期内这个输入信号无效，要到下一个扫描周期输入采样阶段才被写入，使输入更新，这时响应时间最长，如图 2-13 所示。最长响应时间=输入延迟时间+两个扫描周期+输出延迟时间。

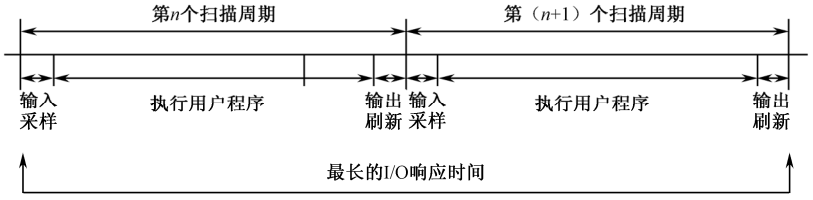


图 2-13　PLC 的最长响应时间

PLC 采用循环扫描的工作方式，即对信息串行处理方式，必定导致输入/输出延迟响应产生滞后现象。对于一般工业控制要求，这种滞后现象是允许的。但是对那些要求响应时间小于扫描周期的控制系统或窄脉冲，则不能满足。对于响应时间小于扫描周期的控制系统，这时可以使用智能 I/O 单元（如快速响应 I/O 模块）或专门的指令（如立即 I/O 指令）；对于窄脉冲可以通过设置脉冲捕捉功能，将输入信号的状态变化锁存并一直保持到下一个扫描周期的输入阶段，让 CPU 读到为止。这两种情况均通过与扫描周期脱离的方式来解决。

用户梯形图程序网络的顺序也将影响响应时间。由图 2-14 所示梯形图中各元件状态的时序图可以看出，当输入信号在第一个扫描周期的程序执行阶段被激励，输入信号到第二周期输入采样阶段才被写入，存入输入继电器 X001；而后进入程序执行阶段，由于 X001=1，Y001 被激励为“1”，Y001=1 的状态存入输出继电器 Y001，同时辅助继电器 M21=1；最后进入输出刷新阶段，将输出继电器 Y001 =1 的状态转存到输出锁存器，直至输出端子 Y001=0，这是 PLC 的实际输出。辅助继电器 M10 要到第三个周期才能被激励，因为 PLC 执行程序时是按顺序扫描的。如果将程序行 0、程序行 2 的位置对调一下，则辅助继电器 M10 在第二周期也能响应。可见用户梯形图程序网络顺序的安排影响了响应时间。

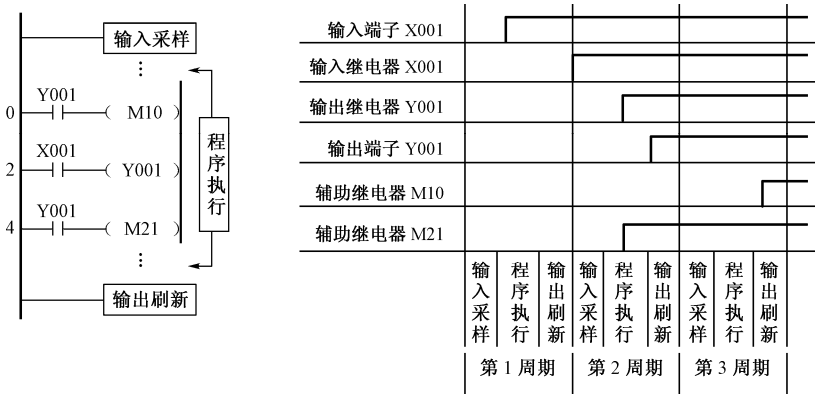


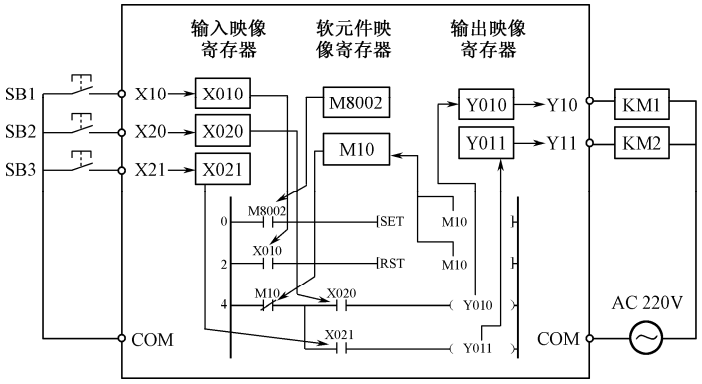
图 2-14　梯形图中各元件状态时序图

注：时序图是分析 PLC 程序执行过程中在时间轴上各元件电平高低的序列图，时序图中高电平表示对应元件得电处于接通状态，低电平表示对应元件失电处于断开状态。

2.2.2 用户程序循环扫描执行

在 PLC 复电进入 RUN 状态后，经自检及通信处理进行输入采样，而后按用户梯形图程序指令的要求，对于输出线圈，按照从上到下的顺序执行，对于同一线圈，按照从左到右的顺序依次执行，动作不可逆转（使用跳转指令的情况除外），最后输出刷新，之后循环往复执行，直至停止。对用户程序的执行过程的理解是设计 PLC 用户程序的关键，下面以实例 2 加电输出禁止程序为例，介绍用户程序循环扫描具体执行过程。

PLC 加电输出禁止程序循环扫描执行过程如图 2-15 所示。SB2、SB3 处于闭合状态，SB1 处于断开状态，PLC 加电进入 RUN 状态后，M8002 接通一个扫描周期，使 M10 置位为“1”，M10 的常闭触点断开，从而切断了输出线圈 Y010、Y011 的控制逻辑，达到了输出被禁止的目的。当 Y010、Y011 所控制的设备准备好后，例如，进入第 2 个循环时，SB1 闭合，X010 的状态为“1”，则 M10 被复位为“0”，对输出 Y010、Y011 的控制解除，并将控制权转移给 X020、X021，此时 SB2、SB3 闭合，X020、X021 为“1”，Y010、Y011 置位为“1”。这样就可以避免 PLC 复电后倘若 X020、X021 均处于 ON 状态导致 Y010、Y011 直接输出的情况。



加电时X020=1，X021=1

第1个PLC循环X010=0	第2个PLC循环X010=1
M8002=1，M10=1	M8002=0，M10=1
X010=0，M10=1	X010=1，M10=0
X020=1，Y010=0	X020=1，Y010=1
X021=0，Y011=0	X021=1，Y011=1

图 2-15　PLC 加电输出禁止程序循环扫描执行过程

复电输出禁止程序在工程实际中经常能用到。可以根据工程具体情况，对本实例稍加改造即可应用。

2.3　三菱 PLC 的程序开发过程

实例 3：电动机的启/停控制

实例说明

本实例主要实现电动机的启/停控制。通过本实例，认识三菱 PLC 控制系统的硬件连接及程序开发过程。

实例实现

图 2-16 所示为电动机启/停控制主电路，电动机启/停由继电器 KM 来控制。继电器线圈的通电与否，由启动按钮（SB2）、停止按钮（SB1）通过 PLC 来控制。图 2-17 所示为电动机启/停控制 PLC 接线图，按下启动按钮（SB2），电动机启动；按下停止按钮（SB1），电动机停止运转。在 PLC 控制中，还需要开发控制程序才能实现规定的控制功能。

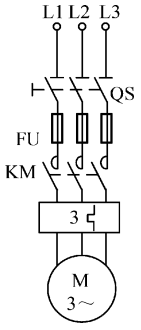


图 2-16　电动机启/停控制主电路

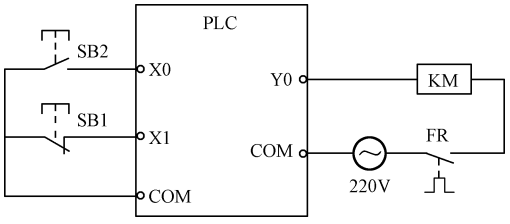


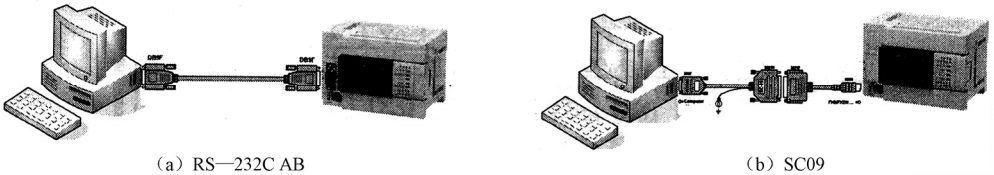
图 2-17　电动机启/停控制 PLC 接线图

实例分析

电动机启/停控制的关键除硬件接线外，还需要开发控制程序。该实例可用在对生产环境需要通风的风机控制上。如果将按钮抽象成一种条件，其应用范围更广。

2.3.1　PLC 的程序开发环境

开发三菱 FX 系列 PLC 用户程序需要一台编程器，并将其与 PLC 基本单元连接起来。编程器可以是专用编程器，也可以是装有编程软件的计算机，后者更普遍一些。三菱 FX 系列 PLC 与计算机通信主要通过 RS—232C 或 RS—422 接口进行。由于计算机上的通信接口是标准的 RS—232C 接口，若 PLC 上的通信接口也是 RS—232C 接口（如 PLC 配置了 FX232BD 通信模块），则 PLC 与计算机可以直接使用适配电缆 RS—232C AB 进行连接，实现通信，如图 2-18（a）所示。当 PLC 上的通信接口是 RS—422 时，必须在 PLC 与计算机之间加一个 RS—232C/RS—422 转换器，如用 SC09 电缆进行连接，实现通信。连接电缆的 9 针端连接在计算机串口上，另一端连接在 PLC 的 RS—422 编程口上，如图 2-18（b）所示。对于笔记本电脑，可选用 USB—8C09—FX 编程电缆，通过安装驱动软件，将相应的 USB 接口虚拟成 RS—232C 串口，即可与 SC09 电缆一样使用。



（a）RS—232C AB　　（b）SC09

图 2-18　三菱 PLC 用户程序开发系统

三菱系列 PLC 使用的编程软件主要有 GX Developer 和 FXGP/WIN 两种，基于 DOS 的 MEDOS 编程软件现在很少使用了。下面分别介绍 GX Developer 和 FXGP/WIN 两种编程软件的操作界面及各部分的主要功能。

1．GX Developer 编程软件

GX Developer 编程软件可以对三菱公司 FX 系列、A 系列、Q 系列和 QnA 系列的可编程控制器进行编程。操作界面如图 2-19 所示，该操作界面大致由菜单栏、工具栏、编程区、工程参数列表和状态栏等部分组成。

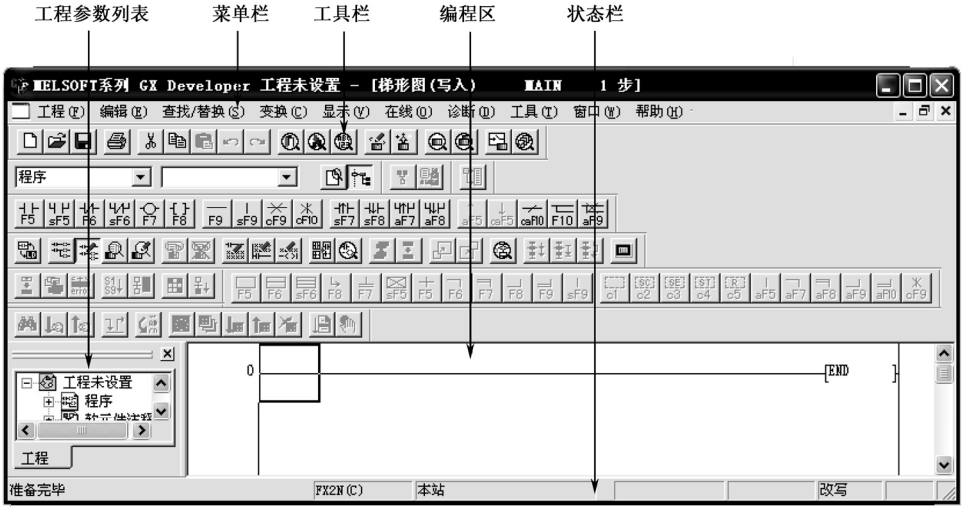


图 2-19　操作界面

（1）菜单栏。菜单栏以下拉菜单形式进行操作。菜单栏中包含“工程”、“编辑”、“查找/替换”、“变换”、“显示”、“在线”、“诊断”、“工具”、“窗口”和“帮助”等菜单项，用鼠标或快捷键执行操作。

（2）工具栏。也称工具条，可以直接单击工具栏上的图标，实现快捷操作。GX Developer 编程环境中有 9 种工具条，包括标准工具条、程序工具条、梯形图标记工具条、SFC 工具条、SFC 符号工具条、数据切换工具条、软元件内存工具条、注释工具条和 ST 工具条。菜单栏中涉及的各种功能在工具栏中都能找到。

① 标准工具条：如图 2-20 所示，由工程菜单、编辑菜单、查找/替换菜单、在线菜单、工具菜单中常用的功能组成。可实现的功能：工程的建立、保存、打印；程序的剪切、复制、粘贴；元件或指令的查找、替换；程序的写入、读出；编程元件的监视、测试，以及参数检查等。



图 2-20　标准工具条

② 程序工具条：如图 2-21 所示，可进行梯形图模式、指令模式的转换，以及读出模式、监控模式、监视写入模式的转换。



图 2-21　程序工具条

③ 梯形图标记工具条：如图 2-22 所示，包含梯形图编辑所需要使用的常开触点、常闭触点、应用指令内容。



图 2-22　梯形图标记工具条

④ SFC 工具条：如图 2-23 所示，对 SFC 程序进行块变换、块信息设置、排序、块监视操作。



图 2-23　SFC 工具条

⑤ SFC 符号工具条：如图 2-24 所示，包含 SFC 程序编辑所需要使用的步、块启动步、结束步、选择合并、平行合并等功能图标。



图 2-24　SFC 符号工具条

⑥ 数据切换工具条：如图 2-25 所示，可在程序、参数、注释、编辑元件内存这四个项目中切换。



图 2-25　数据切换工具条

⑦ 软元件内存工具条：如图 2-26 所示，可进行编程元件的内存设置。

⑧ 注释工具条：如图 2-27 所示，可进行注释范围设置或对公共/各程序的注释进行设置。



图 2-26　软元件内存工具条



图 2-27　注释工具条

⑨ ST 工具条：如图 2-28 所示，包含查找、替换、跳转、书签、调试和设置断点等内容。



图 2-28　ST 工具条

（3）编程区（程序操作编辑区）：用来显示编程操作的工作对象，可以使用梯形图、指令表等方式进行程序的编辑、修改、监控等工作。单击程序工具条中梯形图与指令表转换图标，可实现梯形图程序与指令表程序的转换。编程区左、右两条线为母线，在程序编辑窗口中自动生成，是程序编辑的起始与终止线。

（4）工程参数列表：用来显示程序、编程元件注释、参数、编程元件内存等内容，可以实现这些项目数据的设定。

（5）状态栏：编辑区下部是状态栏，用于表示编程 PLC 类型，软件的应用状态及所处的程序步数等。

2．FXGP/WIN 编程软件

FXGP/WIN 编程软件全称为 SWOPC—FXGP/WIN—C 编程软件，主要针对三菱公司 FX 系列可编程控制器进行编程，其操作界面如图 2-29 所示。

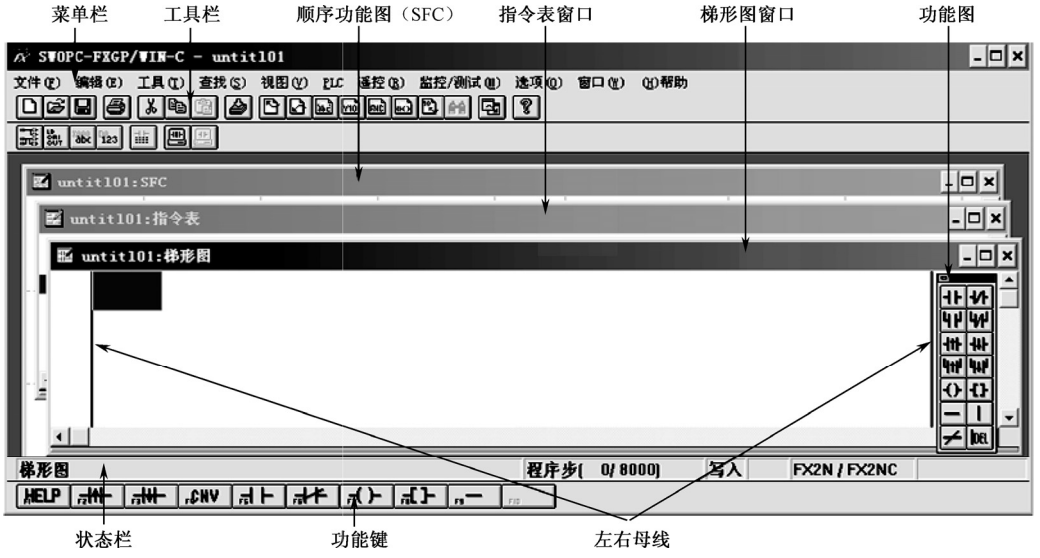


图 2-29　操作界面

（1）菜单栏：菜单栏以下拉菜单形式进行操作，菜单栏中包含“文件”、“编辑”、“工具”、“查找”、“视图”、“PLC”、“遥控”、“监控/测试”、“选项”、“窗口”和“帮助”等菜单项，用鼠标或快捷键执行操作。

（2）工具栏：工具栏提供简便的鼠标操作，将最常用的 SWOPC—FXGP/WIN—C 编程操作以按钮形式设定到工具栏上。可以利用菜单栏中的“视图”菜单选项来显示或隐藏工具栏。菜单栏中涉及的各种功能在工具栏中都能找到。

（3）顺序功能图（SFC）：用来显示顺序功能图编程操作的工作对象。

（4）梯形图和指令表窗口：用来显示编程操作的工作对象，可以使用梯形图、指令表等方式进行程序的编辑工作。使用菜单栏中“视图”菜单项中的梯形图及指令表菜单条，可以实现梯形图程序与指令表程序的转换，也可利用工具栏中梯形图及指令表的按钮实现梯形图程序与指令表程序的转换。

（5）功能图与功能键：功能图与功能键为各种梯形图符号，是梯形图绘制的图形符号库。

（6）状态栏：编辑区下部是状态栏，用于表示编程 PLC 类型，软件的应用状态及所处的程序步数等。

（7）左右母线：左右母线是 SWOPC—FXGP/WIN—C 编程软件编程窗口中梯形图和指

令表程序编辑的起始与终止线，是自动生成的两条线。

2.3.2 电动机启/停控制程序的开发过程

前面对 PLC 开发的软、硬件环境进行了介绍，下面针对实例 3 进行 PLC 用户程序的实际开发。这里分别用 GX Developer 和 FXGP/WIN 两种编程软件进行程序的开发。

1．GX Developer 编程软件开发程序

1）编写程序

将编程器与 CPU 模块连接起来，以 GX Developer 8.0 编程软件及图 2-17 所示的三相异步电动机的 PLC 控制接线图为例，介绍三相异步电动机的 PLC 控制程序开发过程。

（1）创建新工程。双击“GX Developer”快捷方式图标，或者在菜单“开始”→“程序（P）”中选择“MELSOFT 应用程序”→“GX Developer”命令，启动应用程序，通过选择菜单命令“工程”→“创建新工程（N）”，或者按组合键 Ctrl+N 操作，或者单击标准工具条中的图标，弹出图 2-30 所示的“创建新工程”对话框，选择合适的 PLC 系列和 PLC 类型；然后，选择程序类型，设置工程名和工程标题，单击“浏览”按钮，选择梯形图程序所要存放的文件路径；最后单击“确定”按钮，则可进入梯形图编程环境，如图 2-31 所示。选择“工程”→“GX Developer 关闭”菜单项，将退出编程软件。



图 2-30 “创建新工程”对话框

（2）程序输入。

- 步骤 1：梯形图程序的输入。可以用梯形图标记工具条（如图 2-22 所示）中的图标按钮来输入，或者用“编辑（E）”菜单中的“梯形图标记（S）”子菜单来输入，如图 2-32 所示。

若要输入三相异步电动机的编程元件“X000”常开触点，单击梯形图标记工具条中的图标，或者在梯形图标记子菜单中选择“常开触点（A）”，或者按 F5 键，则会在 GX Developer 编程环境中显示图 2-33 所示的软元件输入框，输入 X000，单击“确定”按钮。以此类推，完成“X001”、“Y000”等编程元件的输入。



图 2-31　梯形图编程环境

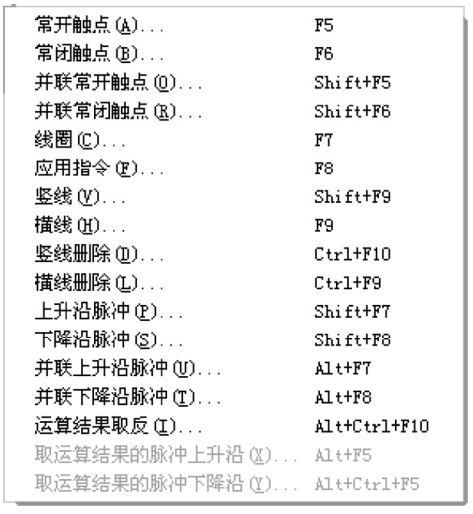


图 2-32　梯形图标记子菜单

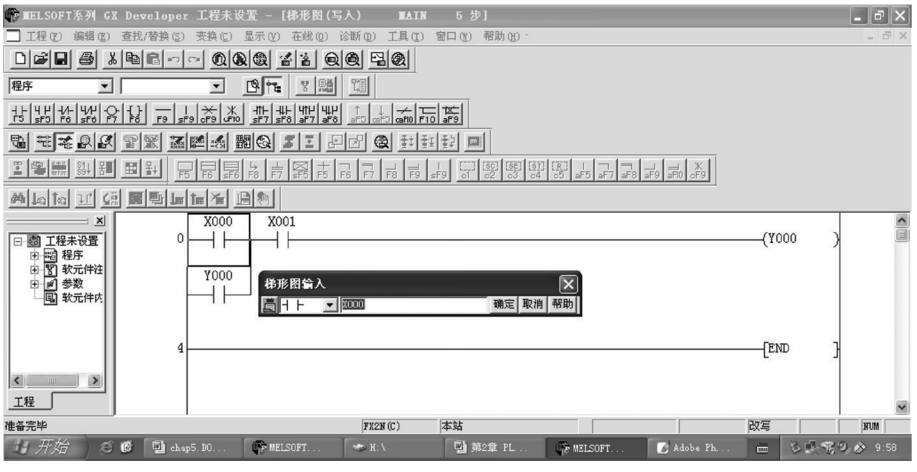


图 2-33　编程元件的输入

- 步骤 2：元件注释。在工具条上单击工程数据列表图标，再单击工程数据列表中软元件注释下方的 COMMENT 前的图标，则显示图 2-34 所示的“软元件注释”窗口。可以输入、编辑和修改软元件名所对应的注释，也可以输入、编辑和修改软元件名所对应的电气代号，即对应电气原理图中的元件部件代号。在工程数据列表显示窗口中显示软元件注释。



图 2-34 “软元件注释”窗口

- 步骤 3：梯形图程序编辑。可以使用主菜单上的“查找/替换（S）”和“编辑（E）”菜单，或者在梯形图写入状态下，单击鼠标右键弹出的快捷菜单来完成。编辑梯形图程序时，要处于梯形图写入模式。在“编辑（E）”菜单中，用“读出模式（R）”、“写入模式（W）”切换梯形图模式。

通过查找替换菜单，可以找到所要编辑的位置；通过编辑菜单，可进行单行和列的插入或删除，可进行剪切、复制、粘贴等操作。利用编辑菜单，完成对 TC 设置值的改变等其他可以操作的项目。

- 步骤 4：梯形图的转换。在梯形图写入模式下，输入完 PLC 程序后，需要将梯形图转换为 PLC 内部格式。未转换时，梯形图背景呈灰色，转换完成时，梯形图背景呈白色。

单击程序工具条中的程序变换图标，或者选择“变换（C）”菜单下的“变换（C）”菜单项，或者按 F4 键完成转换。如果程序有错误或不合法的符号，或者存在不能变换的梯形图，则不能完成转换，光标停留在出错处，需修正错误后才能转换。为避免错误累积，方便查错，建议每输入一段程序，就做一次转换。

（3）工程文件保存。程序输入好后，通过单击“工程”菜单中的“保存工程（S）”，或者按组合键 Ctrl+S，或者单击标准工具条中的图标，即可保存梯形图文件。

如果另存工程时，没有输入工程名，则会出现图 2-35 所示的“另存工程为”对话框。或者单击“工程”菜单中的“另存工程为（A）”命令，也会出现图 2-35 中的“另存工程为”对话框，选择合适的路径，设置工程名和工程标题，最后单击“保存”按钮。

2）在线监控与调试仿真

（1）在线监控：通过 GX Developer 编程软件对当前各编程元件的运行状态和当前性质

进行监控。GX Developer 编程软件的在线调试监控任务主要有程序检查、参数检查。在“在线”菜单下，可以对 PLC 程序进行监视、调试、程序校验等操作。在调试子菜单下，可以进行软元件测试、强制输入/输出、调试、跳跃执行、部分执行和单步执行等操作。在“在线”菜单的监视子菜单下，可以完成或设置监视模式、监视（写入模式）、监视开始、监视停止、全画面监视开始、全画面监视停止、局部软元件监视、当前值监视切换、监视条件设置、监视停止条件设置、中断程序监视列表、扫描时间测定等。



图 2-35 “另存工程为”对话框

GX Developer 编程软件的在线监控功能与 SWOPC—FXGP/WIN—C 编程软件的功能和操作方式基本相同，但操作界面有所差异。

（2）调试仿真。在 GX Developer 编程软件中增加了 PLC 程序的离线调试功能，即仿真功能。通过软件可以实现在没有 PLC 的情况下照样运行 PLC 程序，并实现程序的在线监控和时序图监视功能。

- 步骤 1：准备好梯形图程序。编辑或打开编辑好的电动机启/停控制梯形图程序。
- 步骤 2：启动仿真系统。选择工具菜单，执行“工具”→“梯形图逻辑测试启动（L）”命令，或者“梯形图逻辑测试启动/结束”命令，弹出图 2-36 所示的仿真启动界面，此时 PLC 程序进入仿真运行状态。

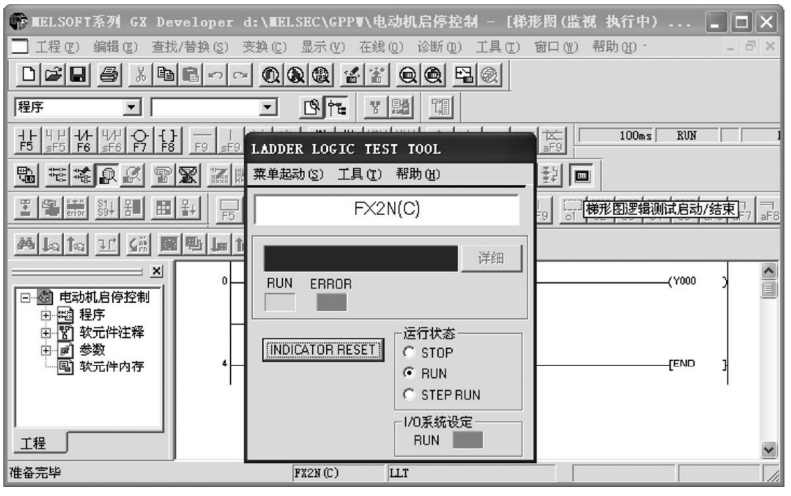


图 2-36 仿真启动界面

➢ 步骤 3：I/O 系统设定。执行菜单起动中的“I/O 系统设定（I）”命令，出现图 2-37 所示的界面，设置好软元件后并保存。如该处设为“dj.IOS”，为仿真监视做好准备；否则，将不能进行监视。

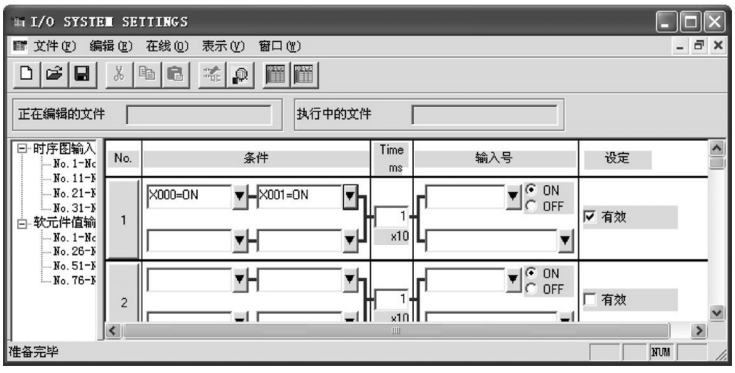


图 2-37　仿真元件设置界面

➢ 步骤 4：I/O 监视运行。在图 2-37 所示仿真元件设置界面中，单击“在线”→“监视开始（M）”，I/O 监视运行界面如图 2-38 所示。若编程元件为黄色，说明该编程元件当前状态为“1”，即“ON”状态，对应梯形图程序中的元件变绿，图 2-38 中的 X000、X001 均为 ON 状态；否则，当前状态为“0”，即 OFF 状态。执行“在线”→“监视停止（E）”命令，I/O 监视运行停止。

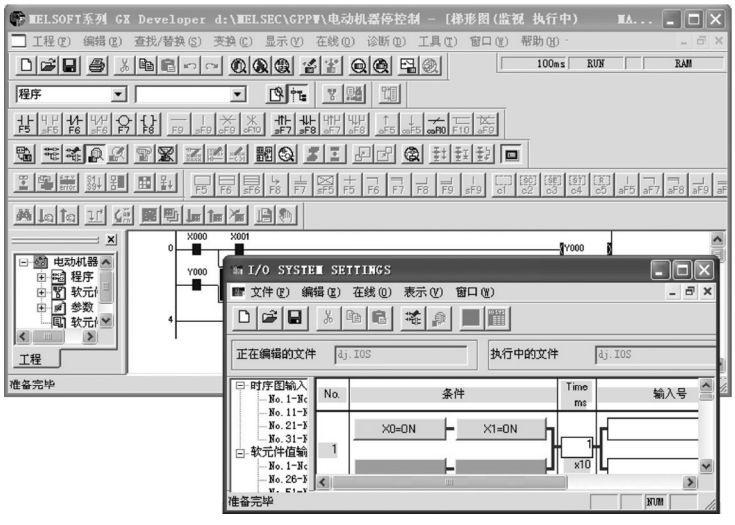
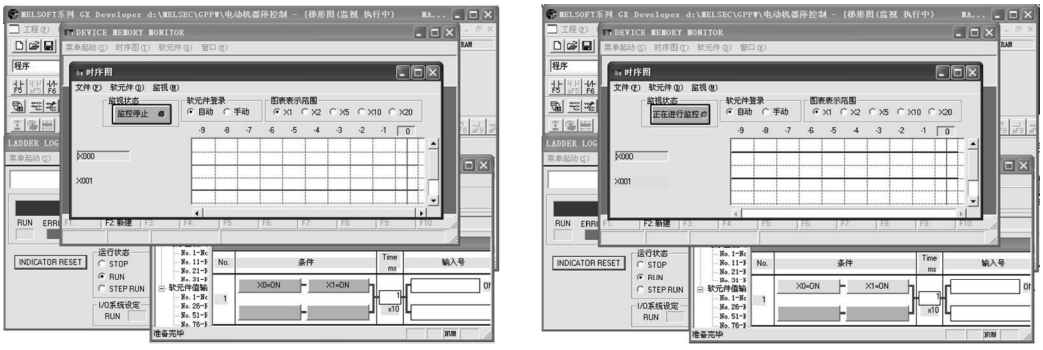


图 2-38　监视运行界面

➢ 步骤 5：时序图监视。在 PLC 仿真运行系统中，单击菜单启动命令中的“继电器内存监视”选项，进入监视运行界面，单击“时序图（T）”→“启动（R）”命令，进入时序图监视界面，如图 2-39（a）所示。在仿真元件设置界面中元件为 ON 状态时，选择时序图中的“监控停止/正在进行监控”选项，开始或停止时序图仿真监控。图 2-39（b）所示为时序图仿真监控进行状态，对应编程元件为黄色，若 X000、X001 元件均为黄色，说明该编程元件当前状态为“1”，即“ON”状态；否则，当前状态为“0”，即“OFF”状态。



（a）　　（b）

图 2-39　时序图监视界面

- 步骤 6：结束仿真监视。在图 2-36 所示的仿真启动界面中，选择运行状态下的“STOP”选项，所有程序仿真运行停止。

2．程序下载运行

要执行调试好的程序，就要将程序传送到 PLC 中。首先将上位机软件与 PLC 主机之间的通信建立起来，然后将调试好的程序下载到 PLC 中执行。下面是程序下载的具体步骤。

- 步骤 1：将 PLC 设置为 STOP（停止）模式。
- 步骤 2：如果是第一次写入程序，还需要设定传输设置，如 PLC 的通信接口、模块或其他站，可以通过菜单选择“在线”→“传输设置”命令进行模式设置。然后进行通信测试。测试完毕后，核实系统构成。如果通信有错误，就会显示错误信息。
- 步骤 3：选择菜单栏中的“在线”→“PLC 写入”选项，或者单击标准工具条中的图标，弹出“PLC 写入”对话框，如图 2-40 所示。选择要写入的运行内容（“参数+程序”/“选择所有”标签页），并选择写入的步数。最后单击“执行”按钮，选择是否执行写入。

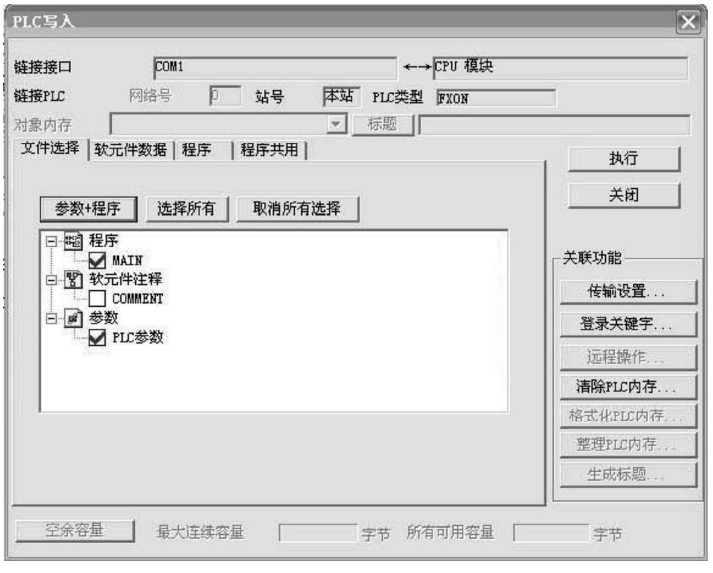


图 2-40 “PLC 写入”对话框

- 步骤 4：程序下载成功后，在运行 PLC 程序前，将 PLC 从 STOP（停止）模式切换到 RUN（运行）模式。

在 GX Developer 编程软件环境中运行实例 3 电动机启/停控制程序，如图 2-41 所示。按下启动按钮 SB2，PLC 输入采样 X0 得电，执行程序，即 X000 软元件得电闭合变“绿色”，Y000 软元件得电使能，Y000 软元件也变“绿色”，PLC 将向 Y0 端子输出，经继电器（电动机启动器）启动电动机。同时，由于 Y000 使能，其常开触点闭合，因此开机按钮被屏蔽。也就是说，松开启动按钮 SB2 后，电动机仍保持运转。按下停止按钮 SB1，PLC 输入采样 X1 失电，执行程序，即 X001 软元件失电断开，恢复原来的“白色”，Y000 软元件失电禁能，也恢复原来颜色，PLC 将向 Y0 端子输出刷新，继电器（电动机启动器）失电，电动机停止运转，对启动按钮的屏蔽被解除，一个工作周期结束。由此可见，PLC 是在输入采样基础上执行程序，并将执行结果通过刷新输出端子，驱动被控对象的。

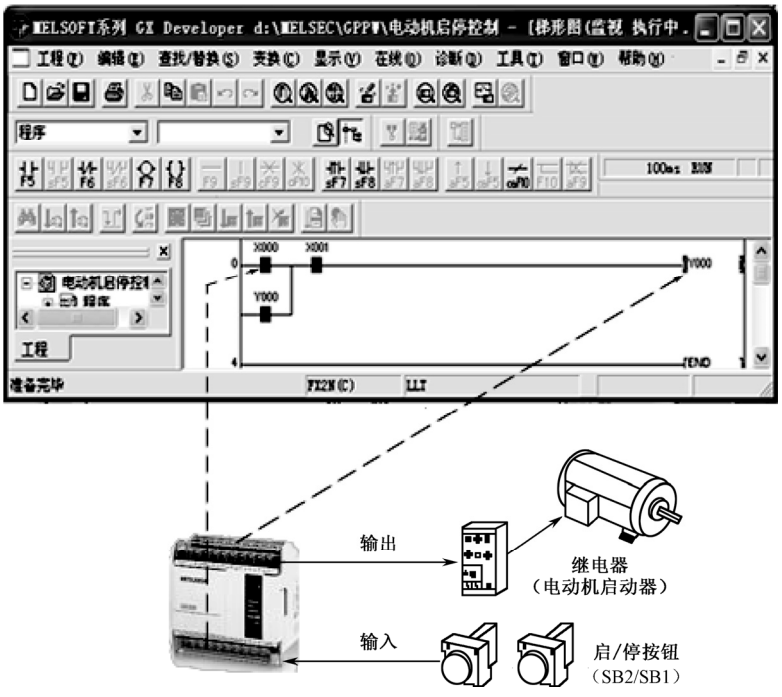


图 2-41　程序运行

3．FXGP/WIN 编程软件开发程序

1）编写程序

将编程器与三菱 PLC 模块连接起来，如图 2-18 所示。这里以 FXGP/WIN 编程软件，以图 2-17 中的三相异步电动机的 PLC 控制接线图为例，介绍三相异步电动机的 PLC 控制程序开发过程。

（1）建立新项目。用鼠标双击“FXGP/WIN”快捷方式图标，或者在“开始”菜单中选择“MELSEC—F FX Applications”→“FXGP—WIN—C”命令，启动应用程序，通过选择菜单命令“文件”→“新文件”，或者按组合键 Ctrl+N 操作，在弹出的对话框中设置 PLC

类型，如“FX_{2N}/FX_{2NC}”，如图 2-42 所示，单击“确认”按钮。图 2-43 所示为 FXGP/WIN 新建项目界面。执行菜单命令“文件”→“退出”，可退出编程软件。

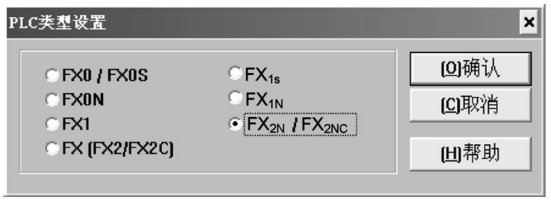


图 2-42　PLC 类型设置

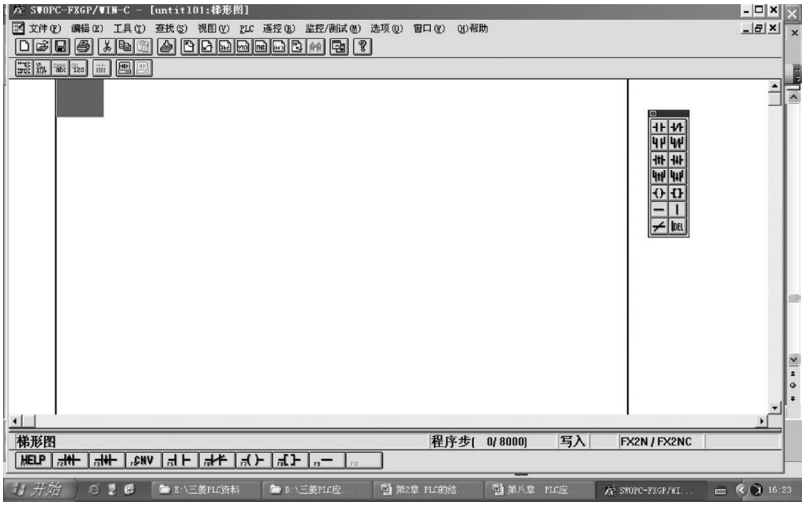


图 2-43　FXGP/WIN 新建项目界面

（2）程序输入。

- 步骤 1：根据三相异步电动机的 PLC 接线图输入编程元件，单击功能图或功能键中欲输入的元件（如常开触点等），此时显示“输入元件”对话框，如图 2-44 所示。在对话框中输入编程元件的地址（如“X0”等），单击“确认”按钮完成编程元件的输入，以此类推，完成“X1”、“Y0”等编程元件的输入。



图 2-44　编程元件的输入

➢ 步骤 2：根据 PLC 接线图，对各编程元件进行注释，选中欲注释的元件，执行菜单命令“编辑”→“元件注释”，弹出“输入元件注释”对话框，如图 2-45 所示。输入注释内容，单击“确认”按钮，完成编程元件的注释。完成的三相异步电动机启/停控制程序界面如图 2-46 所示。



图 2-45 “输入元件注释”对话框



图 2-46 电动机启/停控制程序界面

程序指令输入完毕后，执行菜单命令“选项”→“程序检查”，弹出图 2-47 所示的“程序检查”对话框。如果程序中有不合法的符号、错误的指令应用等情况，单击“确认”按钮后，出错的详细信息会出现在结果框中。可根据出错信息更正程序中的错误并重新检查。

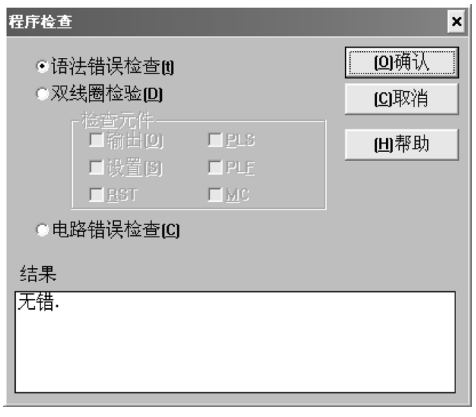


图 2-47 “程序检查”对话框

2）程序测试与监控

程序的测试及运行监控是程序开发的重要环节，在 FXGP/WIN 中测试 PLC 程序时，可以应用监控测试菜单监控软元件的状态及元件的强制设置，诊断并监控程序设计的正确性。监控测试程序时，首先将 PLC 与装有 FXGP/WIN 编程软件的计算机用通信电缆正确地连接好，然后设置正确的通信端口和传送速率，最后使 PLC 处于通电状态；否则，会显示通信错误，不能完成监控。程序测试与监控包含梯形图监控、软元件监控、软元件强制设置和输出元件 Y 强制设置等。

（1）梯形图监控。选择“监控/测试（M）”菜单下的“开始监控（M）”子菜单项，进入梯形图程序的监控，等待数十秒，待计算机与 PLC 建立了通信联系后，就开始监控，并显示图 2-48 所示的监控测试运行界面。当前处于“ON”状态的软元件均显示高亮的颜色，一般为绿色。可以上下滚动梯形图程序，了解和监控 PLC 程序的运行状况。在监控状态时，执行菜单命令“监控/测试”→“停止监控”，则终止监控状态，回到编辑状态。

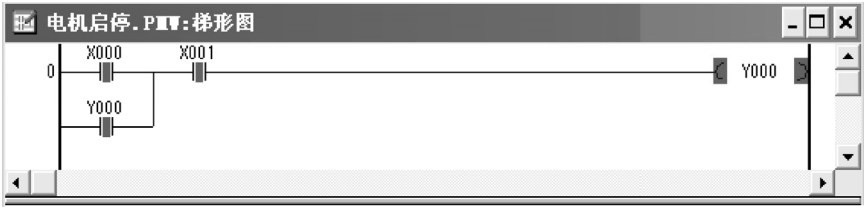


图 2-48　监控测试运行界面

（2）软元件监控。执行菜单命令“监控/测试（M）”→“进入元件监控（N）”，则进入元件监控界面，如图 2-49 所示。当前处于“ON”状态的软元件，在对应的触点和线圈处均显示高亮的颜色方框，一般为绿色。

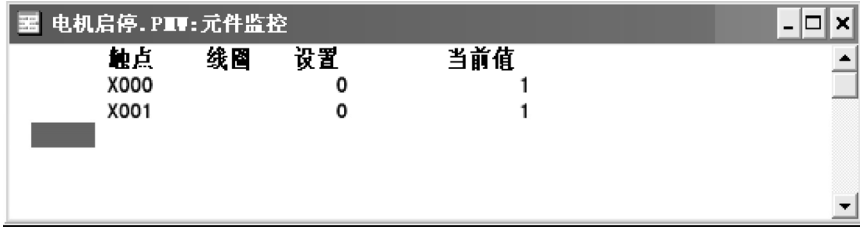


图 2-49　元件监控界面

（3）软元件强制设置。执行菜单命令“监控/测试（M）”→“强制 ON/OFF（R）”项，则进入“强制 ON/OFF”对话框，如图 2-50 所示。输入相应的 X、Y、M 等，选择“设置”选项，即表示置位（SET）状态，单击“确认”按钮可以强制维持 ON 状态；选择“重新设置（R）”选项，即表示复位（RESET）状态，单击“确认”按钮可以强制维持 OFF 状态。例如，选择软元件 X001，选择“设置（SET）”选项，即表示置位状态，单击“确认”按钮可以强制维持 ON 状态，相当于 PLC 上与 X001 相连的开关的常开触点闭合。

（4）输出元件 Y 强制设置。执行菜单命令“监控/测试（M）”→“强制 Y 输出（F）”项，则进入“Y 强制输出”对话框，如图 2-51 所示。输入与 Y 相应的元件号，选择“ON”选项，即表示置位（SET）状态，单击“确认”按钮可以强制维持 ON 状态；选择

“OFF”选项，即表示复位（RESET），单击“确认”按钮可以强制维持 OFF 状态。

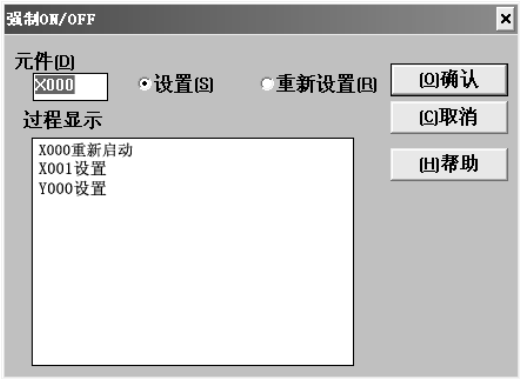


图 2-50 “强制 ON/OFF”对话框

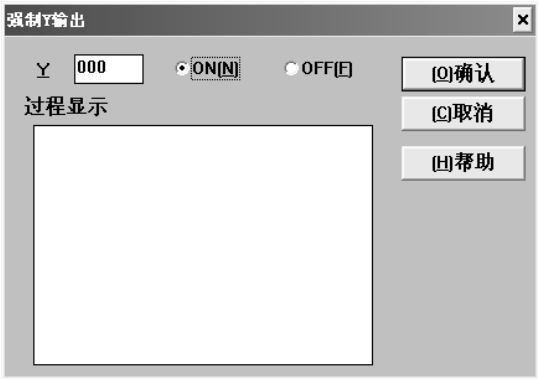


图 2-51 “强制 Y 输出”对话框

例如，选择软元件 Y000，选择“ON”选项，即表示置位状态，单击“确认”按钮可以强制维持 ON 状态，相当于 PLC 上与 Y000 相连的触点闭合，对应的指示灯亮。

注意：强制设置功能必须在计算机中的程序与在 PLC 中的程序一致，并且 PLC 的内存为 RAM 或 E^2PROM 时才可执行。另外，该功能仅在监控线路图时有效。

3）程序下载运行

要执行测试好的程序，就要将程序传送到 PLC 中。首先将上位机软件与 PLC 主机之间的通信建立起来，然后将测试好的程序下载到 PLC 中执行。下面是程序下载的具体步骤。

- 步骤 1：将 PLC 的运行模式设置为“停止”模式，可以通过执行菜单命令“PLC”→“遥控运行/停止”实现。
- 步骤 2：执行菜单命令“PLC”→“传送”→“写入”，启动“PC 程序写入”对话框，如图 2-52 所示。
- 步骤 3：根据默认值，执行下载命令时，选择“所有范围”选项，单击“确认”按钮写入。若选择“范围设置”选项，则要在起始步、终止步文本框中输入具体步数值，单击“确认”按钮写入。如果下载成功，弹出一个确认框显示以下信息：“下载成功”。

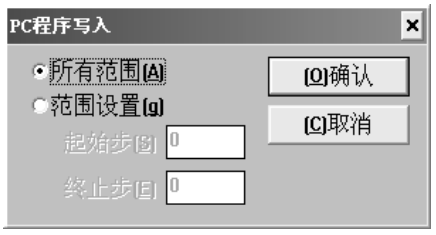


图 2-52 “PC 程序写入”对话框

- 步骤 4：如果要更改 PLC 类型选项，单击“取消”按钮，终止程序下载。
- 步骤 5：执行菜单命令“选项”→“改变 PLC 类型”，弹出“PLC 类型”对话框，选择与实际 PLC 相匹配的 PLC 类型，或者执行菜单命令“PLC”→“写入”，由软件自动读取正确的数值。单击“确认”按钮，关闭对话框。
- 步骤 6：重复步骤 2 重新下载程序。
- 步骤 7：程序下载成功后，在运行 PLC 程序前，将 PLC 从 STOP（停止）模式切换到 RUN（运行）模式。执行菜单命令“PLC”→“遥控运行/停止”，使 PLC 转换到 RUN（运行）模式。在 FXGP/WIN 软件环境中运行实例 3 电动机启/停控制程序如图 2-53 所示，程序运行过程与图 2-41 所示相同。

至此，电动机启/停控制程序的开发过程全部结束，本节中所涉及的 GX Developer 和 FXGP/WIN 编程软件具体应用可参考三菱 GX Developer 和 FXGP/WIN 编程手册。

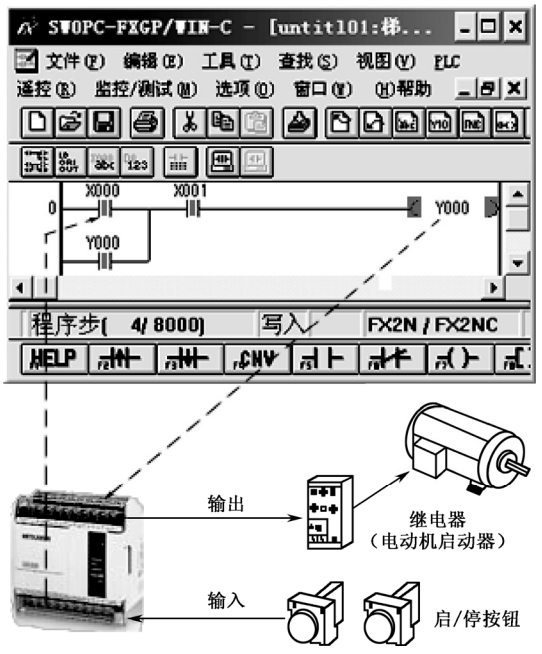


图 2-53　程序运行

三菱 PLC 程序开发主要是通过编程软件完成的，在工程现场调试、局部程序运行监控、故障检修、设备维护时，为了方便，常常还需要使用编程器，下面就编程器进行简要介绍。

2.4　编程器的使用

手持式编程器具有体积小、质量轻、价格低等特点。对于小型 PLC，编程器除用来编程外，还可以用来现场调试和监视 PLC 的工作状态。

三菱 PLC 的手持式编程器：F1—20P—E 和 F2—20P—E 用于三菱 F/F1/F2 系列 PLC 的编程；FX—10P—E 和 FX—20P—E 用于三菱 FX 全系列 PLC 的编程。FX—10P—E、FX—20P—E 手持式编程器的显示器分别显示 2 行和 4 行，每行 16 个字符。它们的使用方法基本相同，本节重点介绍 FX—20P—E 手持式编程器的使用方法。

2.4.1　编程器简介

1．FX—20P—E 型手持式编程器的配件及连接

如图 2-54 所示，FX—20P—E 型手持式编程器主要由编程器和 FX—20P—E 型编程电缆组成，编程器的供电通过编程电缆由 PLC 提供。

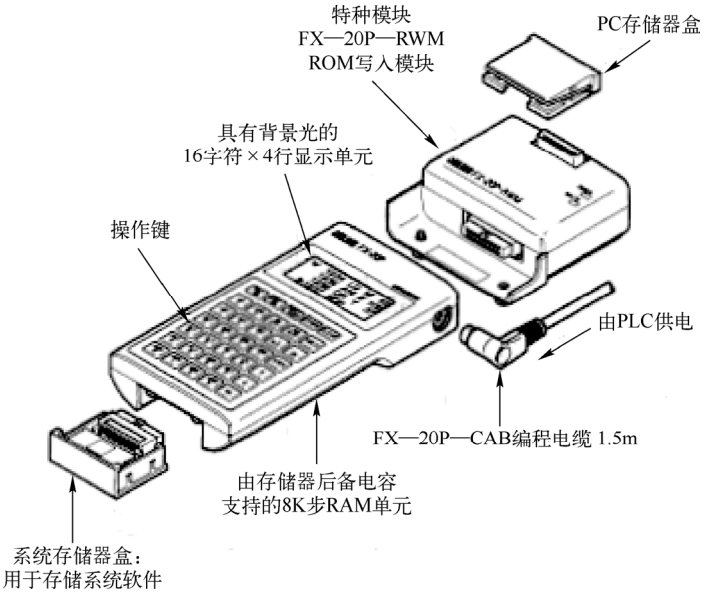


图 2-54　FX—20P—E 及其配件

在编程器的顶部有一个插座，可以连接 FX—20P—RWM 写入器。编程器的底部有系统程序存储器卡盒，更换这个存储器卡盒就可以更新系统程序。

FX—20P—E 型编程器内有 8K 步 RAM，在脱机方式时用来保存用户程序。编程器内附有高性能电容器，通电一小时后断电，在该电容器的支持下，RAM 的内存信息可以保存三天。

编程器与 PLC 的连接如图 2-55 所示。只需将编程电缆的插头插入 PLC 上专用的编程插座内即可。

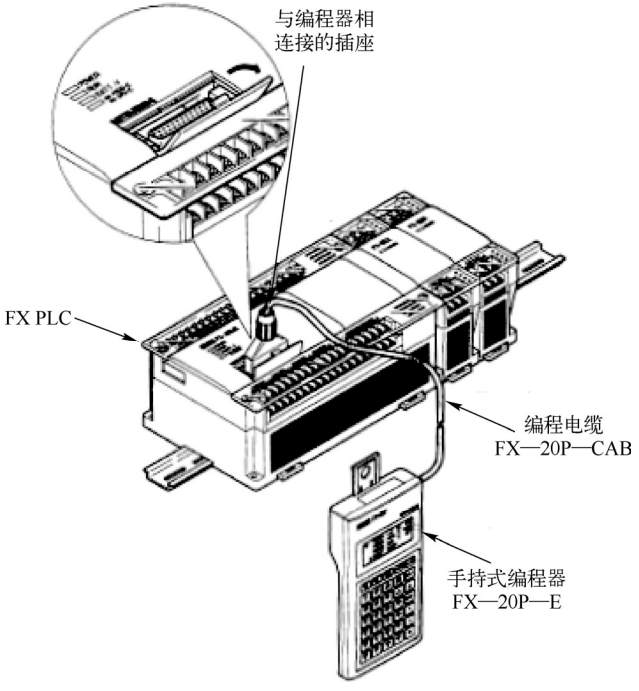


图 2-55　FX—20P—E 与 PLC 的连接

2．FX—20P—E 型编程器的面板布置

FX—20P—E 型编程器的面板上方是一个 4 行的液晶显示器，每行显示 16 字符。显示器的下面有 35 个键，最上面一行和最右侧一列为 11 个功能键，其余的 24 个键为指令键和数字键。编程器的面板如图 2-56 所示。

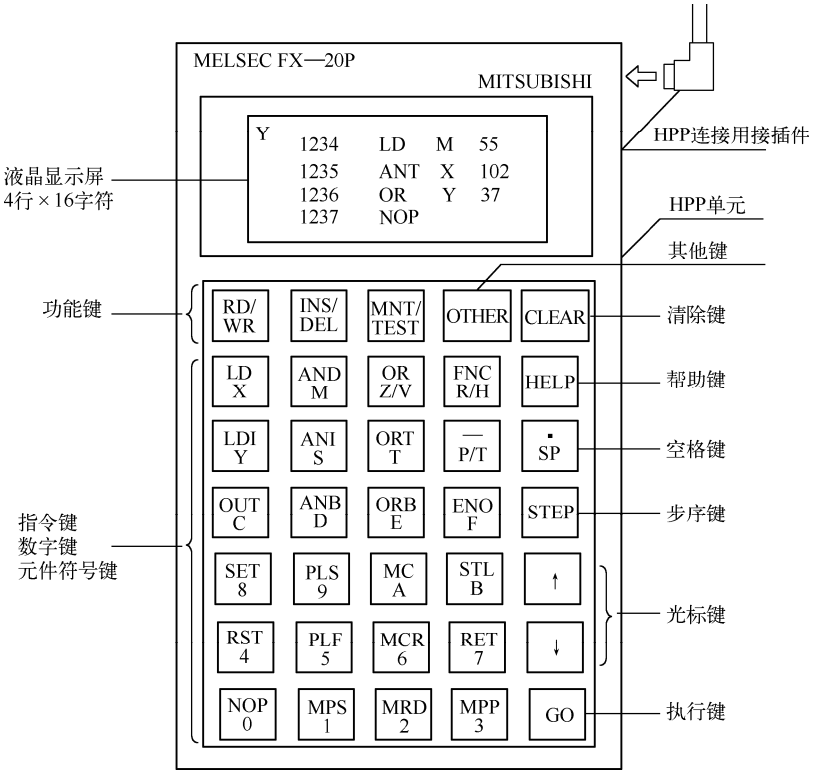


图 2-56　手持式编程器的面板

1）功能键

11 个功能键在编程时的功能简述如下。

“RD/WR”为读出/写入键；“INS/DEL”为插入/删除键；“MNT/TEST”为监视/测试键；这 3 个键都是双功能键，按下时编程器将在两种功能之间切换，并且工作状态显示在液晶显示屏的左上角。

“GO”为执行键，用于指令的确认和执行命令，在输入某个指令后按“GO”键，该指令被写入 PLC 的用户程序存储器中，该键还用来选择工作方式。

“CLEAR”为清除键，在未按“GO”键前，按下“CLEAR”键，刚刚输入的操作码或操作数被清除。该键还用来清除屏幕上的错误内容或恢复原来的画面。

“SP”为空格键，输入多参数指令时，用来指定操作数或常数。在监视工作方式下，若要监视位编程元件，先按“SP”键，再按下该编程元件的元件号即可。

“STEP”为步序键，如果需要显示某步的指令，先按下“STEP”键，再按下步序号即可。

“↑”、“↓”为光标键，使光标“▶”上移或下移。

“HELP”为帮助键，按“FNC”键后再按“HELP”键，屏幕上显示应用指令的分类菜单，再按下相应的数字键，就会显示出该类指令的全部指令名称。在监视方式下按“HELP”键，可以使字编程元件内的数据在十进制和十六进制之间进行切换。

“OTHER”为其他键，无论什么时候按下，立即进入工作方式选择状态。

2）指令键、元件符号键和数字键

它们都是双功能键，键的上面是指令助记符，下面是元件符号或数字，上、下两种功能自动切换，对键下半部分的元件符号，如 Z/V、K/H、P/I 交替起作用，反复按键时，相互切换。

3）液晶显示屏

在编程时，液晶显示屏如图 2-57 所示。

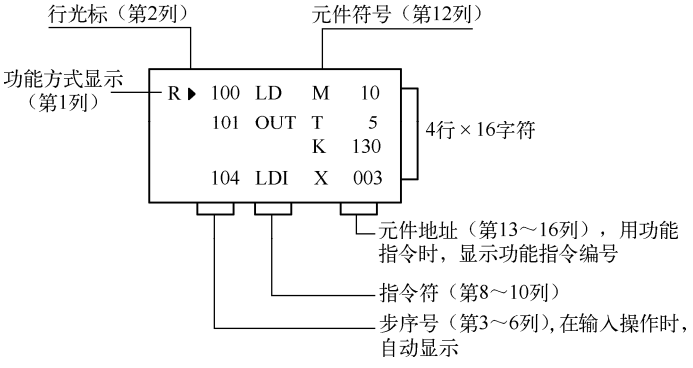


图 2-57　液晶显示屏

液晶显示屏第一行第一列的字符代表编程器的工作方式。其中，“R”为读出用户程序；“W”为写入用户程序；“I”方式将新输入的指令插入光标“▶”所指的指令之前；“D”表示删除“▶”所指的指令；“M”表示编程器处于监视工作状态，可以监视编程元件的 ON/OFF 状态、字编程元件内的数据，以及对基本逻辑指令的通/断状态进行监视；“T”表示监视器处于测试（TEST）工作状态，可以对位编程元件的状态及定时器和计数器的线圈强制 ON 或强制 OFF，也可以对字元件内的数据进行修改。

第 3～6 列为指令步序号；第 7 列为空格；第 8～10 列为指令助记符；第 12 列为操作数或元件的类型；第 13～16 列为功能指令编号。

2.4.2　编程器的基本操作

1．编程器编写程序的基本步骤

（1）准备工作：先关闭电源，用 FX—20P—CAB 电缆或 FX—20P—CAB0 电缆连接手持编程器与可编程控制器。

（2）启动系统：接通可编程控制器的电源，复位手持编程器。

（3）设定联机/脱机方式：根据所采用的方式，选择联机/脱机方式，按执行键。

（4）编程操作：利用写入/读出、插入/删除功能键编写程序。

（5）结束。

2．编程器的工作方式选择

FX—20P—E 型编程器具有在线（ONLINE 或称联机）编程和离线（OFFLINE 或称脱机）编程两种工作方式。在线编程时，编程器与 PLC 直接相连，编程器直接对 PLC 的用户程序存储进行读、写操作。若 PLC 内装有 E^2PROM 卡盒，程序写入该卡盒；若没有 E^2PROM 卡盒，程序写入 PLC 内的 RAM 中。在离线编程时，编制的程序首先写入编程器内的 RAM 中，然后再成批地传入 PLC 的存储器。

FX—20P—E 型编程器上电后，其液晶屏幕上显示的内容如图 2-58 所示。其中，闪烁的符号“■”指明编程器目前所处的工作方式。用“↑”或“↓”键将“■”上移或下移到所需要的位置，再按“GO”键，就进入选定的工作方式。当选择“ONLINE”（联机方式）方式时，液晶屏所显示的内容如图 2-59 所示。

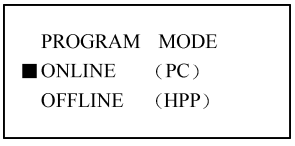


图 2-58　工作方式选择

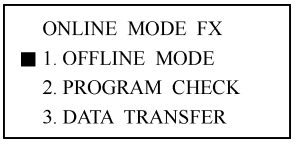


图 2-59　联机方式选择

在联机编程方式下，有 7 种工作方式。

（1）OFFLINE　MODE（脱机方式）：进入脱机编程方式。

（2）PROGRAM　CHECK：程序检查，若没有错误，则显示“NO　ERROR”（没有错误）；若有错误，则显示出错指令的步序号及出错代码。

（3）DATA　TRANSFER：数据传送，若 PLC 内装有存储器卡盒，则在 PLC 的 RAM 和外装的存储器之间进行程序和参数的传送；反之，则显示“NO　MEM　CASSETTE”（没有存储器卡盒），不进行传送。

（4）PARAMETER：对 PLC 的用户程序存储器容量进行设置，还可以对各种具有断电保持功能的编程元件的范围及文件寄存器的数量进行设置。

（5）XYM..NO.CONV.：修改 X、Y、M 的元件号。

（6）BUZZER　LEVEL：蜂鸣器的音量调节。

（7）LATCH　CLEAR：复位有断电保持功能的编程元件。

3．用户程序存储器初始化

在写入程序前，一般需要将存储器中原有内容全部清除，先按“RD/WR”键，使编程器处于 W（写）工作方式，接着按以下顺序按键：

“NOP”→“A”→“GO”→“GO”

4．指令的读出

1）根据步序号读出指令

先按“RD/WR”键，使编程器处于 R（读）工作方式，如果要读出步序号为 50 的指令，按下列的顺序操作，该步的指令就显示在屏幕上：

“STEP”→“5”→“0”→“GO”

若还需要显示该指令之前或之后的其他指令，按“↑”或“↓”键即可。按“GO”键可以显示下面四条指令。

2）根据指令读出

（1）从 PLC 中读出并显示指令“LD　X10”。按“RD/WR”键，使编程器处于读（R）工作方式，然后按以下的顺序按键：

“LD”→“X”→“1”→“0”→“GO”

按“GO”键后屏幕上显示出指定的指令和步序号。接着再按功能键“GO”，屏幕上显示出下一条相同的指令及其步序号。如果用户程序中没有该指令，在屏幕的最后一行显示“NOT　FOUND”（未找到）。按“↑”或“↓”键可以读出上一条或下一条指令。按“CLEAR”键，屏幕显示原来的内容。

（2）读出数据传送指令“DMOVP　D0　D4”。MOV 指令的应用指令代码为 12，在 R（读）工作方式下，然后按下列顺序按键：

“FUN”→“D”→“1”→“2”→“P”→“GO”

3）根据元件读出基本逻辑指令

在读（R）工作方式下读出指针 P10 的操作步骤如下：

“P”→“1”→“0”→“GO”

读出中断程序用的指针（如 1001）时，应连续按两次“P/I”键。

5．指令的写入

按“RD/WR”键，使编程器处于写（W）工作方式，按“STEP”键后输入相应的步序号，接着按功能键“GO”，使“▶”移动到指定的步序号。这时，可以开始写入指令。如果需要修改刚写入的指令，在未按“GO”键前，按下“CLEAR”键，刚输入的操作码或操作数被清除。按了“GO”键后，可以按“↑”键，回到刚写入的指令，再作修改。

1）写入基本逻辑指令

写入指令“LD　X10”时，先使编程器处于写（W）工作方式，将光标“▶”移动到指定的步序号位置，然后按以下顺序按键：

“LD”→“X”→“1”→“0”→“GO”

写入 LDP、ANP、ORP 指令时，在按指令键后还要按“P/I”键；写入 LDF、ANF、ORF 指令时，在按指令键后还要按“F”键；写入 INV 指令时，按“NOP”、“P/I”和“GO”键。

2）写入应用指令

先使编程器处于写（W）工作方式，将光标“▶”移动到指定的步序号位置，然后按“FNC”键，接着按该应用指令的指令代码对应的数字键，然后按“SP”键，再按相应的操作数键。如果操作数不止一个，每次输入操作数前，先按一下“SP”键，输入所有的操作数后，再按“GO”键，该指令就被写入 PLC 的存储器内。如果操作数为双字节，按“FNC”键后，再按“D”键；如果仅当其控制电路由断开到闭合（上升沿）时才执行该应用指令的操作（脉冲执行），在输入其编程代码的数字键后，接着再按“P”键。

（1）写入数据传送指令“MOV　D0　D4”。MOV 的指令的应用指令编号为 12，写入的操作步骤如下：

“FUN”→“1”→“2”→“SP”→“D”→“0”→“SP”→“D”→“4”→“GO”

（2）写入数据传送指令“DMOVP　D0　D4”。操作步骤如下：

“FUN”→“D”→“1”→“2”→“P”→“SP”→“D”→“0”→“SP”→“D”→“4”→“GO”

3）写入指针

先使编程器处于写（W）工作方式，按键的顺序与读出指针类似。

6．程序的修改

1）修改指定步序号的指令

将某步序号原有的指令改写为“OUT　T0　K15”。根据步序号读出原指令后，按“RD/WR”键，使编程器处于写（W）工作方式，然后按下列操作步骤按键：

“OUT”→“T”→“0”→“SP”→“K”→“1”→“5”→“GO”

如果要修改应用指令中的操作数，读出该指令后，将光标“▶”移到欲修改的操作数所在的行，然后修改该行的参数。

2）指令的插入

如果需要在某条指令之前插入一条指令，按照前述指令读出的方法，先将某条指令显示在屏幕上，使光标“▶”指向该指令。然后按“INS/DEL”键，使编程器处于 I（插入）工作方式，接着按照指令写入的方法，将该指令写入，按“GO”键后写入的指令插在原指令之前，后面的指令依次向后推移。例如，要在 200 步之前插入指令“AND　X4”，在 I 工作方式下首先读出 200 步的指令，然后按以下顺序按键：

“INS”→“AND”→“X”→“4”→“GO”

3）指令的删除

如果需要将某条指令或某个指针删除，按照指令读出的方法，先将该指令或指针显示在屏幕上，使光标“▶”指向该指令。然后按“INS/DEL”键，使编程器处于 D（删除）工作方式，接着功能键“GO”，该指令或指针就被删除。

在删除工作方式，按下列操作步骤按键，指定范围内的程序被删除：

“STEP”→“起始步序号”→“SP”→“STEP”→“终止步序号”→“GO”

2.4.3　编程器对程序的监视

1．元件监视与检查

使用编程器可以对各个位编程元件的状态和各个字编程元件内的数据进行监视和测试。监视功能可以监视和确认联机方式下 PLC 编程元件的运作和控制状态，包括对编程元件的监视和对基本逻辑运算指令通/断状态的监视。测试是指用编程器对位编程元件的强制置位与复位，以及对字操作元件内数据的修改，如对 T、C、D、Z、V 当前值的修改，对 T 和 C 设定值的修改，文件寄存器的写入等。

1）对位编程元件的监视

以监视辅助继电器 M153 的状态为例，先按“MNT/TEST”键，使编程器处于 M（监视）工作方式，然后按下列的操作步骤按键：

“SP”→“M”→“1”→“5”→“3”→“GO”

屏幕上就会显示出 M153 的状态。如果在编程元件的左侧有字符“■”（如图 2-60 所示），表示该编程元件处于 ON 状态；如果没有，表示它处于 OFF 状态，最多可以监视 8 个元件。按“↑”或“↓”键，可以监视前面或后面元件的状态。

2）监视 16 位和 32 位编程元件（D、Z、V）内的数据

假设要监视 D0，在监视工作方式按下面的顺序按键：

“SP”→“D”→“0”→“GO”

就会显示出数据寄存器 D0 内的数据。按功能键“↓”，将显示 D1 内的数据。此时显示的数据均以十进制数表示。按功能键“HELP”，显示的数据在十进制数和十六进制数之间切换。

要监视由数据寄存器 D0 和 D1 组成的 32 位数据寄存器时，按下面的顺序按键：

“SP”→“D”→“D”→“0”→“GO”

3）对定时器和计数器的监视

假设要监视定时器 C99，在监视工作方式，按下面的顺序按键：

“SP”→“C”→“9”→“9”→“GO”

屏幕上显示的内容如图 2-61 所示。第三行末尾显示的数据 K20 是 C99 的设定值。第四行中的字母 P 表示 C99 输出触点的状态，当其右侧显示“■”时，表示其常开触点闭合；反之，则表示其常开触点断开。第四行中的字母“R”表示 C99 复位电路闭合，复位（R）位为 ON 状态；反之，则表示其复位电路断开。非积算定时器没有复位输入，图 2-61 中 T100 的“R”未用。

M■M	153	Y	10
S	1	■X	3
X	4	S	5
▶X	6	X	7

图 2-60　位编程元件的监视

M T	100	K	100
P	R	K	250
▶C	99	K	20
P■R		K	100

图 2-61　定时器/计数器的监视

监视 32 位计数器 C200 时，按下面的顺序按键：

“SP”→“C”→“2”→“0”→“0”→“GO”

屏幕上显示的内容如图 2-62 所示。第一行的 P 和 R 的意义与图 2-61 中的一样，U 的右侧显示“■”时，表示其计数方式为递增（UP）；反之，为递减计数方式。第二行显示的数据为当前计数值，第三行和第四行显示设定值，如果设定值为常数，直接显示在屏幕的第三行上；如果设定值存放在某数据寄存器内，第三行显示该数据寄存器的元件号，第四行才显示其设定值。

4）通/断检查

在监视状态下，根据步序号或指令字母读出指令代码，可以监视指令中元件触点的通/断和线圈的状态。按“GO”键后显示四条指令代码，第一行是指定的指令。若某一行元件

符号的左侧显示空格，表示该行指令对应的触点断开，或者对应的线圈“断电”；反之，表示该行指令对应的触点接通，或者对应的线圈“通电”。

在 M（监视）工作方式下，按以下顺序按键：

“STEP”→“1”→“2”→“6”→“GO”

屏幕上显示的内容如图 2-63 所示。根据各行是否显示“■”，就可以知道触点和线圈的状态。但是对于定时器和计数器来说，若指令“OUT　T”或“OUT　C”所在行显示“■”，仅表示定时器或计数器分别处于定时或计数工作状态（其线圈“通电”），并不表示其常开触点接通。

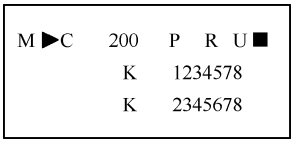


图 2-62　32 位计数器监视

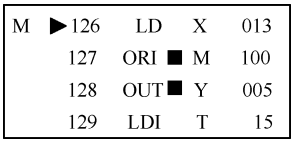


图 2-63　通/断检查

5）活动步对应的状态继电器的监视

用指令或编程元件的测试功能使 M8047（STL 监视有效）为 ON，先按“MNT/TEST”键，使编程器处于 M（监视）工作方式，再按“STL”键和“GO”键，可以监视最多 8 点为 ON 的状态继电器（S），它们按元件号从大到小的顺序排列。

2．对编程元件的测试

1）位编程元件强制 ON/OFF

先按“MNT/TEST”键，使编程器处于监视（M）工作方式，然后按照监视位编程元件的操作步骤，显示出需要强制 ON/OFF 的那个位编程元件，接着再按“MNT/TEST”键，使编程器处于测试（T）工作方式。确认“▶”指向需要强制 ON 或强制 OFF 的编程元件后，按“SET”键，即强制该位编程元件为 ON；按“RST”键，即强制该编程元件为 OFF。

强制 ON/OFF 的时间与 PLC 的运行状态有关，也与位编程元件的类型有关。一般来说，当 PLC 处于 STOP 状态时，按“SET”键，除输入继电器 X 接通的时间仅一个扫描周期外，其他位编程元件的 ON 状态一直持续到按下“RST”键为止。其波形如图 2-64 所示，每次只能对“▶”所指的那一个位编程元件执行强制 ON/OFF。

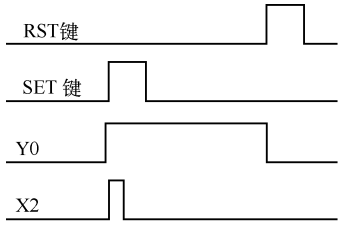


图 2-64　强制 ON/OFF 波形

但是，当 PLC 处于 RUN 状态时，除输入继电器 X 的执行情况与在 STOP 状态时的一样外，其他位编程元件的执行情况还与梯形图的逻辑运算结果有关。假设扫描用户程序的结果使输出继电器 Y0 为 ON，按 RST 键只能使 Y0 与 OFF 的时间维持一个扫描周期；反之，假设扫描用户程序的结果使输出继电器 Y0 为 OFF，按 SET 键只能使 Y0 为 ON 的时间维持一个扫描周期。

2）修改 T、C、D、Z、V 的当前值

在监视（M）工作方式下，按照监视字编程元件的操作步骤，显示出需要修改的那个字编程元件，再按“MNT/TEST”键，使编程器处于测试（T）工作方式，将定时器 T5 的当

前值修改为 K20 的操作如下：

监视 T5→“TEST”→“SP”→“K”→“2”→“0”→“GO”

常数 K 为十进制数设定；H 为十六进制数设定。输入十六进制数时，需要连续按两次“K/H”键。

3）修改定时器和计数器的设定值

在 M（监视）工作方式，显示出待监视的定时器和计数器指令后，再按“MNT/TEST”键，使编程器切换到 T（测试）工作方式。将定时器 T2 的设定值修改为 K40 的操作如下：

监视 T2→“TEST”→“SP”→“SP”→“K”→“4”→“0”→“GO”

第一次按“SP”键后，提示符“▶”出现在当前值前面，这时可以修改其当前值；第二次按“SP”键后，提示符“▶”出现在设定值前面，这时可以修改其设定值；输入新的设定值后按“GO”键，设定值修改完毕。

将 T7 存放设定值的数据寄存器的元件号修改为 D22 的操作如下：

监视 T7→“TEST”→“SP”→“SP”→“D”→“2”→“2”→“GO”

思考题

1. 简述 PLC 的基本工作原理，说明 PLC 在输入和输出的处理上有什么特点。
2. 什么是 PLC 的扫描周期？PLC 扫描周期的长短与哪些因素有关？
3. 三菱 PLC 的工作状态有哪几种？各运行在什么情况下？
4. 简述三菱 PLC 的主机单元、扩展单元和扩展模块性能特点。
5. 用三菱 FXGP/WIN 和 GX Developer 软件编程时需要注意什么和准备什么？
6. 简述 PLC 执行用户程序的过程。
7. PLC 手持式编程器使用方法有哪些？

第 3 章　三菱 FX_{2N} 的指令系统

只有用户根据自己的控制要求编写用户程序并上传到 PLC 的用户程序存储器中之后，PLC 才能按照用户的要求实现自动控制。用户要能准确地编写用户程序就必须熟悉编写程序时所使用的各种指令。通常把可编程控制器中所有指令的集合称为它的指令系统。本章系统地概括了三菱 FX_{2N} 的常用指令和使用方法。

3.1　FX_{2N} 的软元件



PLC 用于工业控制，其实质是用程序表达控制过程中事物间的逻辑或控制关系。在 PLC 内部设置有各种不同功能、能方便代表控制过程中各种事物的元器件，称为编程元件。编程元件用来完成程序所赋予的逻辑运算、算术运算、定时、计数等功能。PLC 的编程元件从物理实质上讲是电子电路及存储器，考虑到工程技术人员的习惯，常采用继电器电路中类似器件名称命名，如输入继电器、输出继电器、辅助继电器、状态继电器、定时器、计数器等。为了和普通的硬器件相区别，称 PLC 的编程元件为软元件，是等效概念的模拟器件，并非实际的物理器件。从编程的角度出发，可以不管这些软元件的物理实现，只需注重其功能，在编程中可以像在继电器—接触器电路中一样使用。

每种软元件根据其功能赋予一个名称并用相应的字母表示，如输入继电器 X、输出继电器 Y、定时器 T、计数器 C、辅助继电器 M、状态继电器 S、数据寄存器 D 等。当有多个同类软元件时，在字母的后面加上数字编号，该数字也是元件的存储地址。其中，输入继电器和输出继电器用八进制数字编号；其他均采用十进制数字编号。

3.1.1　输入继电器

输入继电器与 PLC 的输入端子相连，是专门用来接收 PLC 外部开关信号的元件。PLC 通过将外围输入设备的状态（接通或断开状态）转换成输入接口等效电路中输入继电器的线圈的通电、断电状态（接通时为“1”状态，断开时为“0”状态，这个过程也称为外围设备状态写入）并存储在输入映像寄存器中。

输入继电器线圈由外部输入信号所驱动，只有当外部信号接通时，对应的输入继电器才得电，不能用指令来驱动，所以在程序中只能用其触点（该输入继电器的专用数据存储区——输入映像寄存器的状态），而不可用其线圈。由于输入继电器（X）为输入映像寄存器中的状态，因此其触点的使用次数不限。另外，输入继电器的触点只能用于内部编程，无法驱动外部负载。输入继电器的示意图如图 3-1 左半部所示。

FX 系列 PLC 的输入继电器采用八进制数字编号，如 X000～X007 和 X010～X017。注意：通过 PLC 编程软件或编程器输入时，会自动生成四位八进制的地址编号，因此在标准梯形图中是四位地址编号，但在非标准梯形图中，习惯写成 X0～X7 和 X10～X17 等，输出继电器 Y 的写法与此相同。FX_{2N} 输入继电器的编号范围为 X000～X267（184 个）。

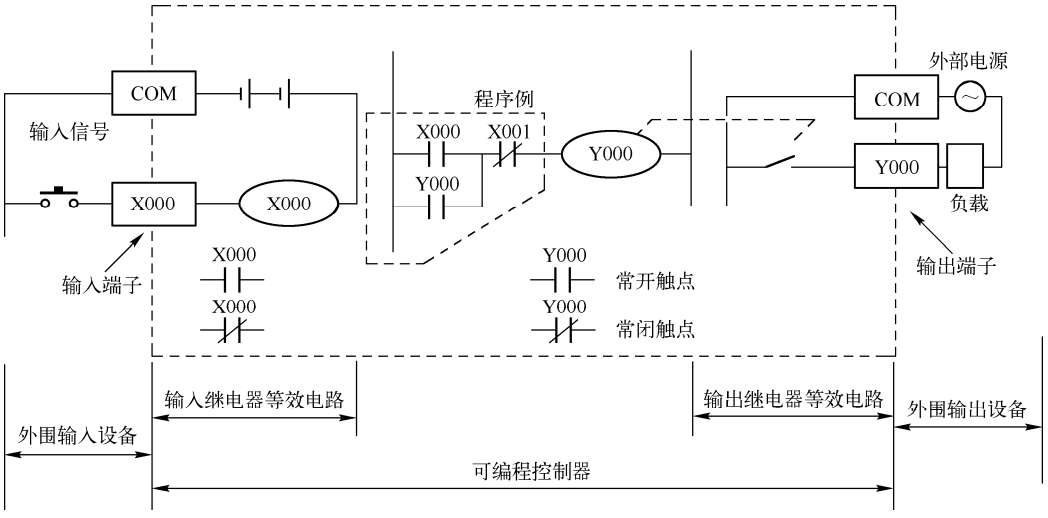


图 3-1　输入/输出继电器示意图

3.1.2　输出继电器

输出继电器与 PLC 的输出端子相连，用来将 PLC 内部程序运算结果输出给外部负载（用户输出设备）。输出继电器线圈由 PLC 内部程序的指令驱动，其线圈状态传送给输出单元，再由输出单元对应的硬触点来驱动外部负载。

每个输出继电器在输出单元中都对应有唯一一个常开硬触点，但在程序中供编程的输出继电器的常开触点和常闭触点都可以使用无数次。输出继电器的示意图如图 3-1 右半部所示。

FX 系列 PLC 的输出继电器采用八进制数字编号，如 Y000～Y007 和 Y010～Y017 等。FX_{2N} 输出继电器的编号范围为 Y000～Y267（184 个）。

3.1.3　辅助继电器

PLC 内部有很多辅助继电器，它是一种内部的状态标志，相当于继电器控制系统中的中间继电器。它的常开/常闭触点在 PLC 的梯形图内可以无限次地自由使用，但是这些触点不能直接驱动外部负载。辅助继电器采用 M 与十进制数字共同组成编号。

1．通用辅助继电器

FX_{2N} 共有 500 个通用辅助继电器（M0～M499）。通用辅助继电器在 PLC 运行时，如果电源突然断电，则全部线圈均为 OFF 状态。当电源再次接通时，除了因外部输入信号而变为 ON 状态的以外，其余的仍将保持 OFF 状态，它们没有断电保护功能。通用辅助继电器常在逻辑运算中用于辅助运算、状态暂存、移位等。注意：根据需要可通过程序将 M0～M499 变为断电保持辅助继电器。

2．断电保持辅助继电器

FX_{2N} 共有 2572 个断电保持辅助继电器（M500～M3071）。与普通辅助继电器不同，它具有断电保护功能，即能记忆电源中断瞬时的状态，并在重新通电后再现其状态。它之所

以能在电源断电时保持其原有的状态，是因为电源中断时利用 PLC 中的锂电池供电来保持其映像寄存器中的内容。注意：根据需要可由通过软件设置，将 M500～M1023 设定为通用辅助继电器，这时应通过在程序最前面的地方用 RST 或 ZRST 指令进行状态初始化。

3．特殊辅助继电器

PLC 内有大量的特殊辅助继电器，不同的特殊辅助继电器有各自特定的功能。FX_{2N} 系列中有 256 个特殊辅助继电器，通常分为触点型和线圈型两类。

1）触点型特殊辅助继电器

其线圈由 PLC 自动驱动，用户只可以利用其触点。用户可读取该触点来监视 PLC 的运行状态或获取时钟。

（1）运行监视继电器，如图 3-2 所示。

- M8000——当 PLC 处于 RUN 时，其线圈一直得电
- M8001——当 PLC 处于 STOP 时，其线圈一直失电

（2）初始化继电器，如图 3-3 所示。

- M8002——当 PLC 开始运行的第一个扫描周期其得电
- M8003——当 PLC 开始运行的第一个扫描周期其失电

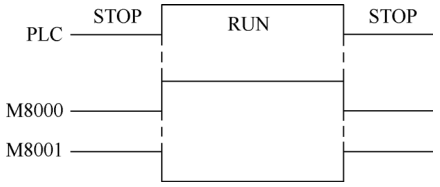


图 3-2　运行监视继电器时序图

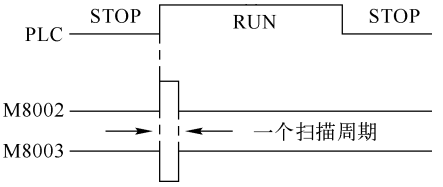


图 3-3　初始化继电器时序图

（3）出错指示继电器。

- M8004——当 PLC 有错误时，其线圈得电
- M8005——当 PLC 锂电池电压下降至规定值时，其线圈得电
- M8061——PLC 硬件出错，出错代码为 D8061
- M8064——参数出错，出错代码为 D8064
- M8065——语法出错，出错代码为 D8065
- M8066——电路出错，出错代码为 D8066
- M8067——运算出错，出错代码为 D8067
- M8068——当线圈得电，锁存错误运算结果

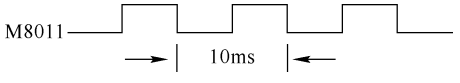


图 3-4　时钟继电器时序图

（4）时钟继电器，如图 3-4 所示。

- M8011——产生周期为 10ms 脉冲
- M8012——产生周期为 100ms 脉冲
- M8013——产生周期为 1s 脉冲
- M8014——产生周期为 1min 脉冲

（5）标志继电器

- M8020——零标志。当运算结果为 0 时，其线圈得电
- M8021——借位标志。减法运算的结果为负的最大值以下时，其线圈得电

- M8022——进位标志。加法运算或移位操作的结果发生进位时，其线圈得电

2）线圈型特殊辅助继电器

由用户驱动线圈，PLC 将作出特定动作。这些继电器如下：

- M8034——禁止全部输出。当 M8034 线圈被接通时，则 PLC 的所有输出自动断开
- M8039——恒定扫描周期方式。当 M8039 线圈被接通时，则 PLC 以恒定的扫描方式运行，恒定扫描周期值由 D8039 决定
- M8031——非保持型继电器、寄存器状态清除
- M8032——保持型继电器、寄存器状态清除
- M8033——PLC 的工作模式由 RUN 转为 STOP 时，输出保持 RUN 前状态
- M8035——强制运行（RUN）监视
- M8036——强制运行（RUN）
- M8037——强制停止（STOP）

3.1.4 状态继电器

状态继电器（S）是构成状态转移图的基本要素，是对步进顺序控制进行简易编程的重要软元件，与步进指令 STL 组合使用，如图 3-5 所示。状态继电器的常开和常闭触点在 PLC 梯形图内可以自由使用，使用次数不限。不用步进顺序控制指令时，状态继电器可以作为辅助继电器在程序中使用，如图 3-6 所示。停电保持用状态继电器能记忆电源停电前一刻的开/关状态，因此能从中途工序开始工作。与辅助继电器 M 一样，利用来自外围设备的参数设定，可改变普通型与断电保持型状态的地址分配。FX_{2N} 的状态继电器有下面五种类型。

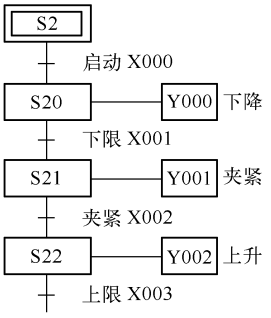


图 3-5　状态转移图

（1）初始状态继电器 S0～S9，共 10 个，用于状态转移图的初始状态。

（2）回零状态继电器 S10～S19，共 10 个，在多运行模式控制中，用于返回原点的状态。

（3）通用状态继电器 S20～S499，共 480 个，用于状态转移图的中间状态。

（4）保持状态继电器 S500～S899，共 400 个，具有停电保持功能，用于停电恢复后需继续执行停电前状态的场合。

（5）报警用状态继电器 S900～S999，共 100 个，作为报警元件使用。

注意：当状态继电器作为一般状态使用时，应在程序的起始部分设置区间复位电路，如图 3-7 所示。

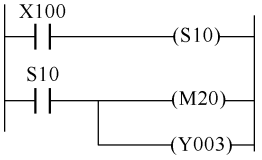


图 3-6　一般用状态继电器的使用说明

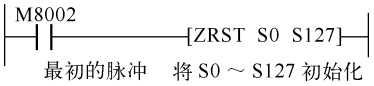


图 3-7　一般用状态继电器的初始化

3.1.5 定时器

定时器（T）又称计时器，在 PLC 中的作用相当于一个时间继电器，用于时间控制。PLC 中的定时器分为普通定时器和积算定时器两类。工作中，当定时器线圈得电时，定时器对相应的时钟脉冲（100ms、10ms、1ms）从 0 开始计数，根据设定时间值与当前时间值的比较，当计数值等于设定值时，定时器触点动作。除此之外，也可以将计数器的当前值读取用于控制。定时器可采用程序存储器内的常数 K（立即数）作为设定值，也可用数据寄存器 D 的内容进行间接指定。另外，不使用的定时器可用做数据寄存器。

表 3-1 列出了 FX_{2N} 系列 PLC 的定时器的分类与功能。

表 3-1 FX_{2N} 系列 PLC 的定时器的分类与功能

普通定时器		积算定时器		电位器型 0～255 的数值
100ms 0.1～3276.7s	10ms 0.01～327.67s	1ms 0.001～32.767s	100ms 0.1～3276.7s	
T0～T199（200 点），其中 T192～T199 为子程序和中断服务程序用	T200～T245 （46 点）	T246～T249 （4 点）执行中断的保持用	T250～T255 （6 点）保持用	功能扩展板 8 点

定时器的定时常数可采用立即数设定，也可用数据寄存器 D 间接寻址方法设定。

（1）立即数设定方法如图 3-8 所示。当 X003＝ON 时，将十进制整数 K100 赋予定时器 T10 的时间设定值寄存器，同时启动 T10 定时器，对 PLC 内部的 100ms 时基进行计数。

（2）间接寻址方法设定如图 3-9 所示。当 X001＝ON 时，将十进制整数 K100 赋予数据寄存器 D5；当 X003＝ON 时，将 D5 的数值（K100）赋予定时器 T10 的时间设定值寄存器，同时启动 T10 定时器，对 PLC 内部的 100ms 时基进行计数。

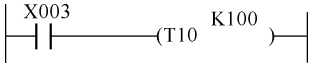


图 3-8 立即数设定方法

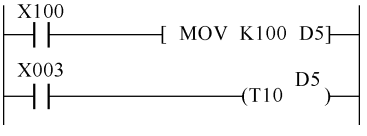


图 3-9 间接寻址方法设定

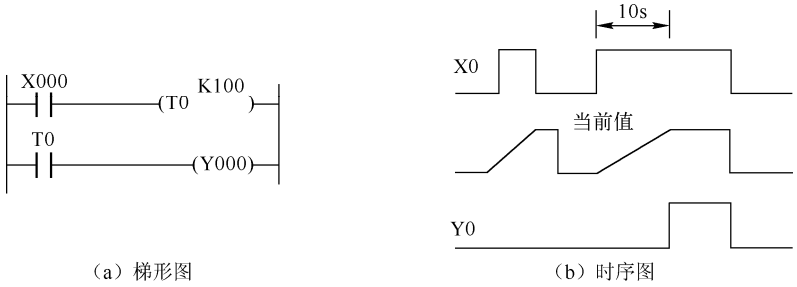
1．普通定时器

普通定时器的特点是不具备断电保持功能，即当输入电路断开或停电时定时器复位。普通定时器有 100ms 和 10ms 两种。

（1）100ms 普通定时器（T0～T199），共 200 个。其中，T192～T199 为子程序和中断服务程序专用定时器。这类定时器对 100ms 时钟脉冲累积计数，设定值为 1～32 767，所以其定时范围为 0.1～3 276.7s。

（2）10ms 普通定时器（T200～T245），共 46 个。这类定时器对 10ms 时钟脉冲累积计数，设定值为 1～32 767，所以其定时范围为 0.01～327.67s。

普通定时器的动作过程如图 3-10 所示。当输入 X000 为 ON 时，定时器 T0 从 0 开始对 10ms 时钟脉冲进行累积计数，当计数值与设定值 K100 相等时，定时器的常开接通 Y000，经过的时间为 100×0.01s=1.00s。当 X000 断开后定时器复位，计数值变为 0，其常开触点断开，Y000 也随之 OFF。若外部电源断电，定时器也将复位。



（a）梯形图　　（b）时序图

图 3-10　普通定时器的动作过程

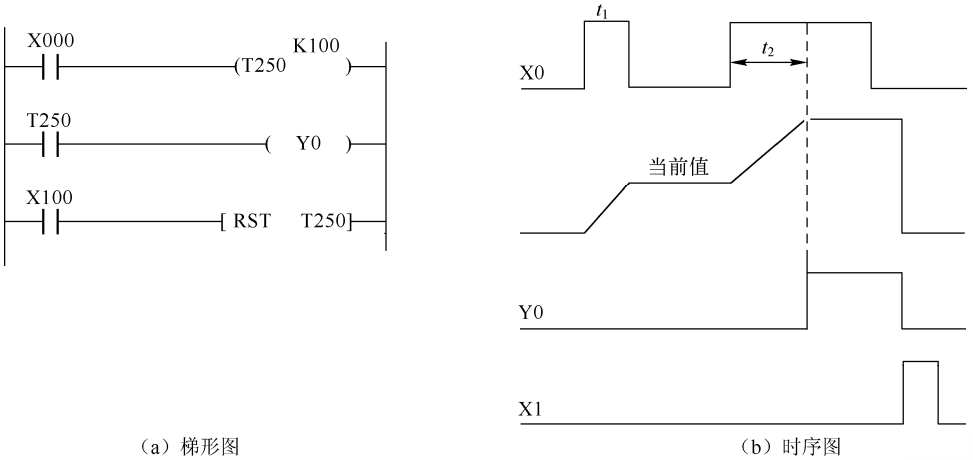
2．积算定时器

积算定时器具有计数累积的功能。在定时过程中如果断电或定时器线圈在 OFF 状态，积算定时器将保持当前的计数值（当前值），通电或定时器线圈在 ON 状态后继续累积，即其当前值具有保持功能，只有将积算定时器复位，其当前值才变为 0。积算定时器有 1ms 和 100ms 两种。

（1）1ms 积算定时器（T246～T249），共 4 个。这类定时器对 1ms 时钟脉冲进行累积计数，设定值为 1～32 767，所以其定时范围为 0.001～32.767s。

（2）100ms 积算定时器（T250～T255），共 6 个。这类定时器对 100ms 时钟脉冲进行累积计数，设定值为 1～32 767，所以其定时范围为 0.1～3276.7s。

积算定时器的动作过程如图 3-11 所示。当 X000 接通时，T250 当前值计数器开始累积 100ms 的时钟脉冲的个数。当 X000 经 t_1 后断开，而 T250 尚未计数到设定值 K100，其计数的当前值保留。当 X000 再次接通，T250 从保留的当前值开始继续累积，经过 t_2 时间，当前值达到 K100 时，定时器的触点动作。累积的时间为 $t_1+t_2=0.1\times100s=10s$。当复位输入 X001 接通时，定时器才复位，当前值变为 0，触点也跟随复位。



（a）梯形图　　（b）时序图

图 3-11　积算定时器的动作过程

3.1.6　计数器

计数器（C）在程序中用于计数控制，对 X、Y、M、S、T 和 C 等元件的触点通断次数进行计数。计数器与定时器相同，通过设定计数值与当前计数值的比较结果来输出触点信

号。此外，也可以将计数器的当前值读取用于控制。不使用的计数器，可用做数据寄存器。当用 MOV 等应用指令将小于当前值寄存器的数据写入设定值寄存器时，在下次计数输入到来时，计数器触点立即接通，当前值寄存器的数值变为设定值。当前值寄存器的最高位为符号位，符号位为“0”时，值为正数；符号位为“1”时，值为负数。

FX_{2N} 系列计数器主要分为 16 位增计数型计数器和 32 位增/减计数器，二者特点如表 3-2 所示。

表 3-2　16 位计数器和 32 位计数器的特点

项　　目	16 位计数器	32 位计数器
计数方向	顺序计数	增/减可切换使用
设定值	1～32 767	−2 147 483 648～+2 147 483 647
指定的设定值	常数 K 或数据寄存器	同←，但是数据寄存器需要一对
当前值的变化	顺序计数后不变化	顺序计数后变化（循环计数器）
输出触点	顺序计数后保持动作	顺序计数保持动作，倒数复位
复位动作	执行 RST 命令时，计数器的当前值为零，输出触点恢复	
当前值寄存器	16 位	32 位

表 3-3 列出了 FX_{2N} 系列计数器的地址号与功能。

表 3-3　计数器的地址号与功能

计　数　器	16 位增计数器		32 位增/减计数器	
	普　通　型	断电保持型	普　通　型	断电保持型
地　址　号	C0～C99，100 点①	C100～C199，100 点②	C200～C219，20 点①	C220～C234，15 点②

注：① 表示非停电保持型，利用参数设定，可变为停电保持型；
② 表示停电保持型，利用参数设定，可变为非停电保持型。

FX_{2N} 的计数器分为内部计数器和高速计数器两类。

1．内部计数器

内部计数器在执行扫描操作时对内部信号（如 X、Y、M、S、T 等）进行计数。内部输入信号的接通和断开时间应比 PLC 的扫描周期稍长。

（1）16 位增计数器（C0～C199）共 200 个，其中 C0～C99 为普通型，C100～C199 为断电保持型。这类计数器为递加计数，使用前先对其设置一设定值，当输入信号（上升沿）个数累加到设定值时，计数器动作，即其常开触点闭合、常闭触点断开。计数器的设定值为 1～32 767（16 位二进制）。计数器可以用常数 K 作为设定值，也可以用数据寄存器 D 的内容作为设定值。

普通型 16 位增计数器的工作原理如图 3-12 所示。当 X010 接通时，C0 复位，X011 是计数输入，每当 X011 接通一次，计数器当前值增加 1（**注意：X010 断开，计数器不会复位**）。当计数器计数当前值为设定值 10 时，计数器 C0 的输出触点动作，Y0 被接通。此后即使输入 X011 再接通，计数器的当前值也保持不变。当复位输入 X010 接通时，执行 RST 复位指令，计数器复位，输出触点也复位，Y000 被断开。

（2）32 位增/减计数器（C200～C234）共 35 个，其中 C200～C219 为普通型，C220～C234 为断电保持型。这类计数器与 16 位增计数器除位数不同外，还在于它能通过控制实现增/减双向计数。设定值范围均为−2 147 483 648～+2 147 483 647（32 位二进制）。

C200～C234 是增计数还是减计数，分别由特殊辅助继电器 M8200～M8234 设定。对应的特殊辅助继电器被置为 ON 时，为减计数；置为 OFF 时，为增计数。

计数器的设定值与 16 位计数器一样，可直接用常数 K 或间接用数据寄存器 D 的内容作为设定值。在间接设定时，要使用编号紧连在一起的两个数据寄存器。

如图 3-13 所示，X010 用来控制 M8200，X010 闭合时，采用减计数方式。X012 为计数输入，C200 的设定值为 5（可正，可负）。将 C200 置为增计数方式（M8200 为 OFF），当 X012 计数输入累加由 4 变为 5 时，计数器的输出触点动作。当前值大于 5 时，计数器仍为 ON 状态。只有当前值由 5 变为 4 时，计数器才变为 OFF。只要当前值小于 4，则输出保持为 OFF 状态。复位输入 X011 接通时，计数器的当前值为 0，输出触点也随之复位。

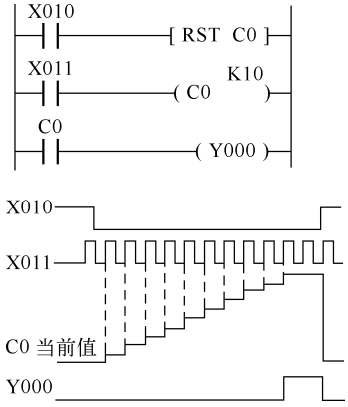


图 3-12　普通型 16 位增计数器的工作原理

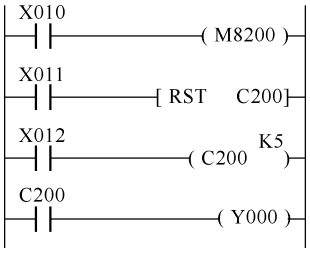


图 3-13　32 位增/减计数器

2．高速计数器

高速计数器与内部计数器相比，除允许输入频率高之外，应用也更为灵活。高速计数器共有 21 个（C235～C255），均为 32 位增/减计数器，均有断电保持功能，适合用来作为高速计数器输入的 PLC 输入端口有 X000～X007。X000～X007 不能重复使用，即若某一个输入端已被某个高速计数器占用，则不能再用于其他高速计数器，也不能作为他用。不作为高速计数器使用的输入编号可在顺序控制程序内作为普通的输入继电器使用。当 X000～X007 作为高速计数器输入的 PLC 输入端口时，X000、X002、X003 的最高频率为 10kHz；X001、X004、X005 的最高频率为 7kHz；X006、X007 只能用做启动信号而不能用于高速计数。不同类型的计数器可同时使用，但输入不能共用。例如，由于 C251、C235、C236、C241、C244、C246、C247、C249、C252、C254 等高速计数器都使用 X000、X001 作为输入端，因此上述高速计数器中有一个被使用，则其他就不能再使用。此外，对于不作为高速计数器使用的高速计数器编号也可以作为数值存储用的 32 位数据寄存器使用。

高数计数器通过中断方式对特定的输入进行计数（FX_{0N} 为 X0～X3），与 PLC 的扫描周期无关。设定值范围为−2 147 483 648～+2 147 483 647。

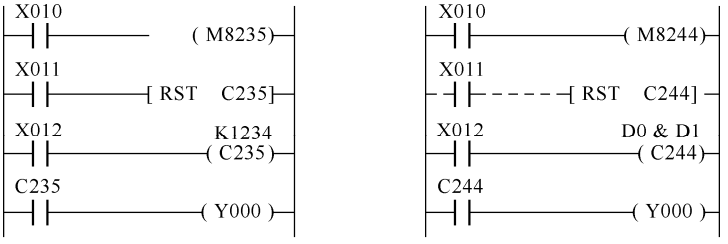
高速计数器可分为 3 类。

1）单相单计数输入高速计数器（C235～C245）

此类计数器的触点动作与 32 位增/减计数器相同，可进行增或减计数。计数方式取决于 M8235～M8245 的状态。

图 3-14（a）所示为无启动/复位端单相单计数输入高速计数器的应用。当 X010 断开且 M8235 为 OFF 时，C235 为增计数方式；反之为减计数。由 X012 选中 C235，从表 3-4 中可知其输入信号来自于 X000，C235 对 X000 信号增计数，当前值达到 1234 时，C235 常开接通，Y000 得电。X011 为复位信号，当 X011 接通时，C235 复位。

图 3-14（b）所示为带启动/复位端单相单计数输入高速计数器的应用。由表 3-4 可知，X001 和 X006 分别为复位输入端和启动输入端。利用 X010 通过 M8244 可设定其增/减计数方式。当 X012 为接通且 X6 也接通时，则开始计数，计数的输入信号来自于 X000，C244 的设定值由 D0 和 D1 指定。除了可用 X001 立即复位外，也可用梯形图中的 X011 复位。



（a）无启动/复位端　　（b）带启动/复位端

图 3-14　单相单计数输入高速计数器的动作过程

表 3-4　高速计数器相对应的输入端子

分类	1 相无启动/复位						1 相启动/复位					1 相 2 输入（双向）					2 相输入（A—B）				
计数器	C235	C236	C237	C238	C239	C240	C241	C242	C243	C244	C245	C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
继电器+/−	M8235	M8236	M8237	M8238	M8239	M8240	M8241	M8242	M8243	M8244	M8245	M8246	M8247	M8248	M8249	M8250	M8251	M8252	M8253	M8254	M8255
X000	U/D						U/D			U/D		U	U		U		A	A		A	
X001		U/D					R			R		D	D		D		B	B		B	
X002			U/D					U/D			U/D		R		R			R		R	
X003				U/D					R		R			U		U			A		A
X004					U/D				U/D					D		D			B		B
X005					U/D				R					R		R			R		R
X006										S					S					S	
X007											S					S					S

注：U 为增计数器输入；D 为减计数器输入；A 为 A 相输入；B 为 B 相输入；R 为复位输入；S 为启动输入。X006、X007 只能用做启动信号，而不能用做计数信号。

2）单相双输入型高速计数器（C246～C250）

单相双输入型高速计数器（C246～C250）有两个输入端，一个递增，一个递减。有的还有复位和启动输入端。利用 M8246～M8250 的 ON/OFF 动作可监控 C246～C250 的增计数/减计数动作。

如图 3-15 所示，X010 为复位信号，其有效 ON 则 C248 复位。由表 3-4 可知，可利用

X005 对其复位。当 X011 接通时，选中 C248，输入来自 X003 和 X004。其中，对 X003 进行增计数；对 X004 进行减计数。



图 3-15　单相双输入型高速计数器动作过程

3）双相输入型（A—B 相型）高速计数器（C251～C255）

在双相输入计数器中，A 相和 B 相信号决定计数器是增计数还是减计数。如图 3-16 所示，当 A 相为 ON 时，B 相由 OFF 到 ON，则为增计数；当 A 相为 ON 时，B 相由 ON 到 OFF，则为减计数。当 X012 接通时，由表 3-4 可知，C251 通过中断对来自 X000（A 相）和 X001（B 相）的动作计数。只有当计数到当前值超过设定值时，Y002 才为 ON。如果 X011 接通，则计数器执行 RST 指令复位。根据不同的计数方向，Y003 为 ON（增计数）或 OFF（减计数），即用 M8251～M8255 可监视 C251～C255 的加/减计数状态。

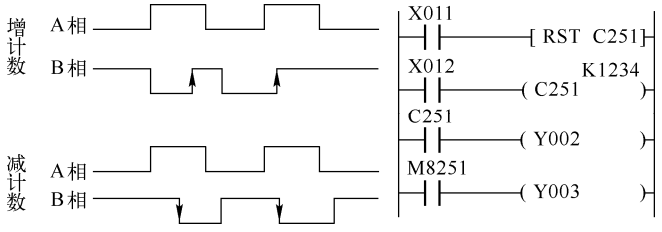


图 3-16　双相高速计数器

注意：不要用计数器输入端触点作计数器线圈的驱动触点。

对于计数器（不管是内部计数器还是高速计数器），在使用的过程中都应该考虑计数器的计数频率。计数器的最高频率受两方面的限制：一是全部高速计数器的处理时间，因为采用中断方式，所以计数器用的越少，则可计数频率就越高；二是输入端的响应速度，主要受硬件的限制，其中 X000、X002、X003 最高频率为 10kHz，X001、X004、X005 最高频率为 7kHz。

3.1.7　数据寄存器

PLC 在进行 I/O 处理、模拟量控制、位置控制时，需要许多数据寄存器（D）存储数据和参数。数据寄存器可存储 16 位二进制数（一个字），最高位为符号位，该位为 0 时数据为正，为 1 时数据为负。可用两个数据寄存器合并起来存储 32 位数据（两个字），最高位仍为符号位。FX_{2N} 的数据寄存器有以下 3 种类型。

1．通用数据寄存器

通用数据寄存器共有 200 个（D0～D199）。将数据写入通用寄存器后，其值将保持不变，直到下一次被改写。当 M8033 为 ON 时，D0～D199 有断电保护功能；当 M8033 为 OFF 时，则无断电保护功能，即当 PLC 的状态由 RUN 改为 STOP 或停电时，数据全部清零。

2．断电保持数据寄存器

断电保持数据寄存器共有 7800 个（D200～D7999）。其中，D200～D511（共 312 个）有断电保持功能，可以利用外部设备的参数设定改变通用数据寄存器与有断电保持功能数据寄存器的分配；D490～D509 供通信用；D512～D7999 的断电保持功能不能用软件改变，但可用指令清除其内容。通过参数设置可以将 D1000 以上的数据寄存器作为文件寄存器使用。

3．特殊数据寄存器

特殊数据寄存器共有 256 个（D8000～D8255）。特殊数据寄存器的作用是用来监控 PLC 的运行状态，如扫描时间、电池电压等。PLC 上电时，这些数据寄存器被写入默认的值。对于未加定义的特殊数据寄存器，用户不能使用。

3.1.8 变址寄存器

FX_{2N} 有 16 个变址寄存器 V0～V7 和 Z0～Z7，它们都是 16 位的寄存器。变址寄存器（V/Z）实际上是一种特殊用途的数据寄存器，其作用相当于计算机中的变址寄存器，用于改变元件的编号（变址）。例如，当 V0=12 时，数据寄存器 D6V0 相当于 D18（6+12=18）。变址寄存器也可以用来修改常数的值。例如，当 Z0=20 时，K48Z0 相当于常数 68（48+20=68）。变址寄存器可以像其他数据寄存器一样进行读写操作，需要进行 32 位操作时，可将 V、Z 串联使用（Z 为低位，V 为高位）。

3.1.9 指针

指针（P/I）用来指示分支指令的跳转目标和中断程序的入口标号，与跳转、子程序、中断程序等指令一起应用。在梯形图中，指针放在左侧母线的左边。FX_{2N} 的指针按用途分为分支用指针 P 和中断用指针 I。

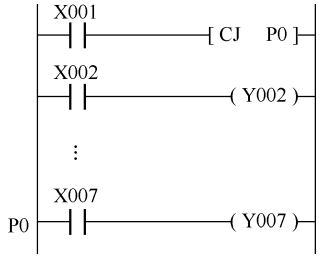


图 3-17 分支用指针应用

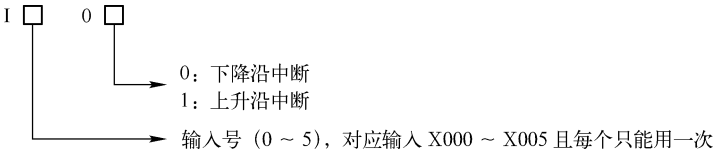
1．分支用指针

分支用指针共 128 个（P0～P127），用来指示跳转指令的跳转目标或子程序调用指令调用子程序的入口地址。如图 3-17 所示，当 X001 常开触点接通时，执行跳转指令 CJ P0，PLC 跳到标号为 P0 处之后的程序去执行。

2．中断用指针

中断用指针用来指示某一中断程序的入口位置。执行中断后遇到中断返回指令，则返回主程序。中断用指针有以下 3 种类型。

（1）外部输入中断用指针。外部输入中断用指针共 6 个（I00□～I50□），用于指示由特定输入端（X000～X005）的输入信号而产生中断的中断服务程序的入口位置，这类中断不受 PLC 扫描周期的影响，可以及时处理外界信息。□表示输入信号的边沿，可在 0 或 1 中选取（0 为下降沿，1 为上升沿）。输入中断指针的编号格式如下所示：



（2）定时器中断用指针。定时器中断用指针共 3 个（I6□□～I8□□），用于指示周期定时中断的中断服务程序的入口位置，这类中断的作用是 PLC 以指定的周期定时执行中断服务程序，定时循环处理某些任务，处理的时间也不受 PLC 扫描周期的限制。□□表示定时范围，可在 10～99ms 中选取。

（3）计数器中断用指针。计数器中断用指针共 6 个（I0□0～I0□0），用在 PLC 内置的高速计数器中。根据高速计数器的计数当前值与计数设定值的关系确定是否执行中断服务程序，常用于利用高速计数器优先处理计数结果的场合。□表示计数器中断号，可在 1～6 中选取。

3.1.10 常数

常数有十进制整数和十六进制整数两种。十进制整数以数据前加 K 来表示，主要用来指定定时器或计数器的设定值及应用功能指令操作数中的数值，其范围：16 位为−32 768～+32 767；32 位为−2 147 483 648～+2 147 483 647。十六进制整数以数据前加 H 来表示，主要用来表示应用功能指令的操作数值，其范围：16 位为 0～FFFF；32 位为 0～FFFFFFFF。

3.2 FX2N 的基本逻辑指令

PLC 中用于一般控制系统的逻辑编程的指令是基本逻辑指令。FX_{2N} 的基本逻辑指令有 27 条，能解决实际生产中一般的继电器—接触器控制问题。基本逻辑指令可采用指令符和梯形图两种常用语言形式。每条基本逻辑指令都有特定的功能和应用对象。

3.2.1 逻辑取及线圈驱动指令

1．指令符与功能

逻辑取及线圈驱动指令的指令符与功能如表 3-5 所示。

表 3-5 逻辑取及线圈驱动指令的指令符与功能

指 令 符	名 称	功 能	梯形图表示	指 令 对 象
LD	取	常开触点逻辑运算开始		X、Y、M、T、C、S
LDI	取反	常闭触点逻辑运算开始		X、Y、M、T、C、S
OUT	输出	线圈驱动		Y、M、T、C、S

2．指令使用说明

（1）LD：取指令，用于常开触点与母线连接。

（2）LDI：取反指令，用于常闭触点与母线连接。

（3）OUT：线圈驱动指令，用于将逻辑运算的结果驱动一个指定线圈。

（4）LD 与 LDI 指令对应的触点一般与左母线相连，若与后述的 ANB、ORB 指令组合，则可用于串、并联电路块的起始触点。

（5）OUT 指令不能直接从左母线输出（应用步进指令控制除外）；不能串联使用；在梯形图中位于逻辑行末尾，紧靠右母线；可以连续使用，相当于并联输出；若未特别设置（输出线圈使用设置），则同名输出继电器的线圈只能使用一次 OUT 指令。

（6）输入继电器 X 不能使用 OUT 指令。

（7）对于定时器的定时线圈或计数器的计数线圈，必须在 OUT 指令后设定常数。

实例 4：逻辑取及线圈驱动指令的应用

实例说明

通过本实例来说明逻辑取及线圈驱动指令的应用。

实例实现

如图 3-18 所示。

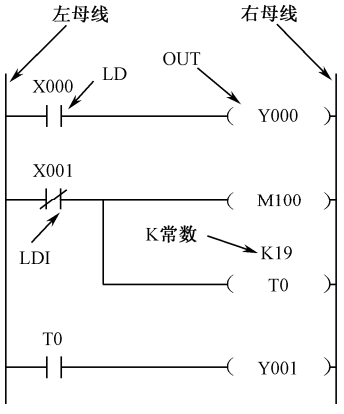


图 3-18　逻辑取及线圈驱动指令的应用

示例对应的语句表如下：

LD	X000	X000 常开触点与母线连接
OUT	Y000	驱动 Y000
LDI	X001	X001 常闭触点与母线连接
OUT	M100	驱动 M100
OUT	T0　K19	驱动 T0，并设定定时常数
LD	T0	T0 常开触点与母线连接
OUT	Y001	驱动 Y001

实例分析

在指令中，“OUT　M100”和“OUT　T0　K19”为并行输出；“OUT　T0　K19”设定定时常数为 19。

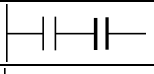
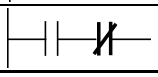
当 X000 的常开触点闭合时，驱动输出继电器 Y000 的线圈；当 X001 的常闭触点闭合时，驱动辅助继电器 M100 的线圈，同时时间继电器 T0（100ms 普通定时器）的线圈也被驱动，开始计时，1.9ms 后 T0 的常开触点闭合，驱动输出继电器 Y001 的线圈。

3.2.2 触点串联指令

1．指令符与功能

触点串联指令的指令符与功能如表 3-6 所示。

表 3-6　触点串联指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
AND	与	常开触点串联连接		X、Y、M、T、C、S
ANI	与非	常闭触点串联连接		X、Y、M、T、C、S

2．指令使用说明

（1）AND：与指令，用于单个常开触点的串联，完成逻辑“与”运算。

（2）ANI：与非指令，用于单个常闭触点的串联，完成逻辑“与非”运算。

（3）AND 和 ANI 指令均用于单个触点的串联，串联触点数目没有限制，该指令可以重复多次使用。

（4）OUT 指令后，通过触点对其他线圈使用 OUT 指令称为纵接输出。在顺序正确的前提下，纵接输出可以多次使用。

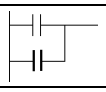
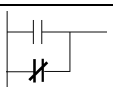
（5）串联触点的数目和纵接的次数虽然没有限制，但由于图形编辑器和打印机功能有限制，因此尽量做到一行不超过 10 个触点和 1 个线圈，连续输出总共不超过 24 行。

3.2.3 触点并联指令

1．指令符与功能

触点并联指令的指令符与功能如表 3-7 所示。

表 3-7　触点并联指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
OR	或	常开触点并联连接		X、Y、M、T、C、S
ORI	或非	常闭触点并联连接		X、Y、M、T、C、S

2．指令使用说明

（1）OR：或指令，用于单个常开触点的并联，完成逻辑“或”运算。

（2）ORI：或非指令，用于单个常闭触点的并联，完成逻辑“或非”运算。

（3）OR 和 ORI 指令从该指令的当前步开始，对前面的 LD、LDI 指令并联连接，并联连接的次数没有限制，但是因为图形编程器和打印机的功能有限制，所以并联连接的次数不超过 24 次。

（4）OR 和 ORI 指令用于单个触点与前面电路的并联，并联触点的左端接到该指令所在的电路块的起始点（LD 点）上，右端与前一条指令对应的触点的右端相连，即单个触点并联到它前面已经连接好的电路的两端（两个以上触点串联连接的电路块并联连接时，要用后述的 ORB 指令）。

实例 5：触点串联指令和触点并联指令的应用

实例说明

通过本实例来说明触点串联指令和触点并联指令的应用。

实例实现

如图 3-19 所示。

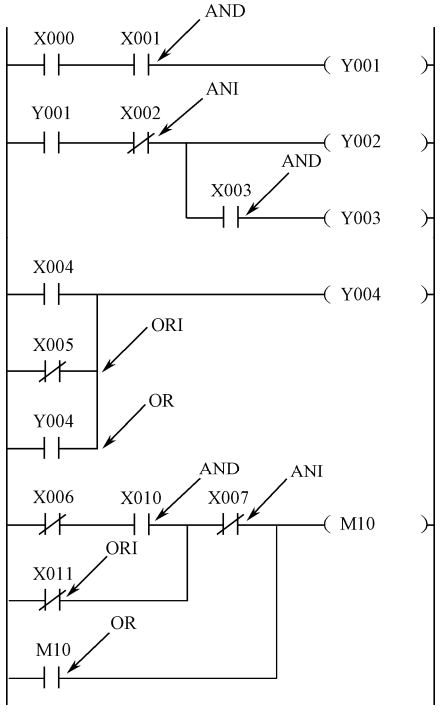


图 3-19　触点串联指令和触点并联指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
AND     X001    串联常开触点 X001
OUT     Y001
LD      Y001
ANI     X002    串联常闭触点 X002
OUT     Y002
AND     X003    串联常开触点 X003
OUT     Y003    纵接输出
LD      X004
ORI     X005    并联常闭触点 X005
OR      Y004    并联常开触点 Y004
OUT     Y004
LDI     X006
AND     X010    串联常开触点 X010
ORI     X011    并联常闭触点 X011
ANI     X007    串联常闭触点 X007
OR      M10     并联常开触点 M10
OUT     M10
```

实例分析

触点串联指令是用来描述单个触点与其他触点或触点（而不是线圈）组成的电路连接关系的。虽然图 3-19 中 X003 的触点与 Y003 的线圈组成的串联电路，与 Y002 的线圈是并联关系，但是 X003 的常开触点与左边的电路是串联关系，因此对 X003 的触点使用串联指令。

在指令中，“OUT　Y002”指令后，再通过 X003 的触点对 Y003 线圈使用“OUT Y003”指令，因此此处为纵接输出。

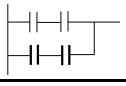
M10 常开触点前面的 4 条指令已经将 4 个触点串、并联为一个整体，因此“OR M10”指令将对应的常开触点并联到该电路的两端。

3.2.4 串联电路块并联指令

1．指令符与功能

串联电路块并联指令的指令符与功能如表 3-8 所示。

表 3-8　串联电路块并联指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
ORB	块或	串联电路块的并联连接		无

2．指令使用说明

（1）ORB：块或指令，用于串联电路块的并联连接（两个以上的触点串联连接的电路称为串联电路块）。

（2）串联电路块并联时，各电路块分支的开始用 LD 或 LDI 指令，分支的结尾用 ORB 指令。

（3）若须将多个串联电路块并联，则在每个电路块后面加上一条 ORB 指令，并联电路块的个数没有限制。

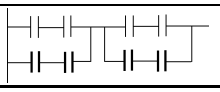
（4）ORB 指令为不带软元件编号的独立指令。

3.2.5 并联电路块串联指令

1．指令符与功能

并联电路块串联指令的指令符与功能如表 3-9 所示。

表 3-9 并联电路块串联指令的指令符与功能

指 令 符	名 称	功 能	梯形图表示	指 令 对 象
ANB	块与	并联电路块的串联连接		无

2．指令使用说明

（1）ANB：块与指令，用于并联电路块的串联连接（两个以上的触点并联连接的电路称为并联电路块）。

（2）在使用 ANB 指令之前，应先完成并联电路块的内部连接。并联电路块串联时，并联电路块中各分支开始用 LD 或 LDI 指令，在并联好电路块后，使用 ANB 指令与前面的电路串联。

（3）如果有多个并联电路块串联，依次以 ANB 指令与前面支路连接，支路数量没有限制。

（4）ANB 指令为不带软元件编号的独立指令。

实例 6：串联电路块并联指令和并联电路块串联指令的应用

实例说明

通过本实例来说明串联电路块并联指令和并联电路块串联指令的应用。

实例实现

如图 3-20 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
AND     X001
LD      X002
AND     X003
ORB                    电路块的并联
LDI     X004
```

```
AND     X005
ORB                 电路块的并联
OUT     Y000
LD      X010
ANI     X011
LDI     X012
AND     X013
ORB                 电路块的并联
OR      X014        单个触点的并联
LD      X015
OR      X016
ANB                 电路块的串联
OR      X017        单个触点的并联
OUT     Y001
```

实例分析

在图 3-20 中，X000 与 X001 的触点、X002 与 X003 的触点、X004 与 X005 的触点分别组成串联电路块，然后串联电路块再并联。

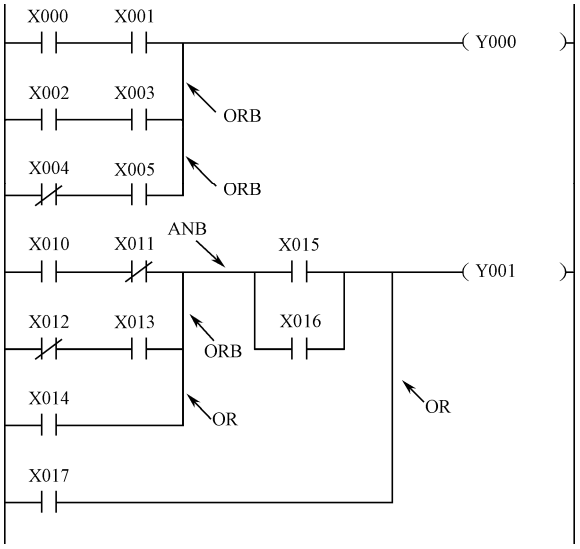


图 3-20　串联电路块并联指令和并联电路块串联指令的应用

X010 与 X011 的触点、X012 与 X013 的触点、X004 的触点共同组成一个并联电路块，X015 的触点、X016 的触点共同组成另一个并联电路块，然后两个并联电路块再串联。

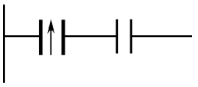
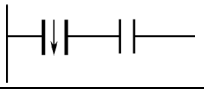
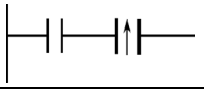
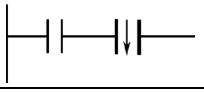
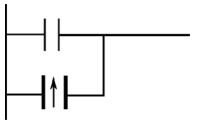
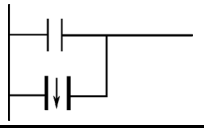
由于 X014 的触点、X017 的触点分别为单个触点，因此它们与其他电路的并联只能使用 OR 指令。

3.2.6　边沿检测脉冲指令

1．指令符与功能

边沿检测脉冲指令的指令符与功能如表 3-10 所示。

表 3-10　边沿检测脉冲指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
LDP	取脉冲上升沿	上升沿检出运算开始		X、Y、M、T、C、S
LDF	取脉冲下降沿	下降沿检出运算开始		X、Y、M、T、C、S
ANDP	与脉冲上升沿	上升沿检出串联连接		X、Y、M、T、C、S
ANDF	与脉冲下降沿	下降沿检出串联连接		X、Y、M、T、C、S
ORP	或脉冲上升沿	上升沿检出并联连接		X、Y、M、T、C、S
ORF	或脉冲下降沿	下降沿检出并联连接		X、Y、M、T、C、S

2．指令使用说明

（1）LDP：从母线直接取用上升沿脉冲触点指令。

（2）LDF：从母线直接取用下降沿脉冲触点指令。

（3）ANDP：串联上升沿触点指令。

（4）ANDF：串联下降沿触点指令。

（5）ORP：并联上升沿触点指令。

（6）ORF：并联下降沿触点指令。

（7）LDP、ANDP、ORP 是用来检测触点状态变化的上升沿（由 OFF→ON 变化时）的指令，当上升沿到来时，使其操作对象接通一个扫描周期，又称上升沿微分指令。

（8）LDF、ANDF、ORF 是用来检测触点状态变化的下降沿（由 ON→OFF 变化时）的指令，当下降沿到来时，使其操作对象接通一个扫描周期，又称下降沿微分指令。

实例 7：边沿检测脉冲指令的应用

实例说明

通过本实例来说明边沿检测脉冲指令的应用。

实例实现

如图 3-21 所示。

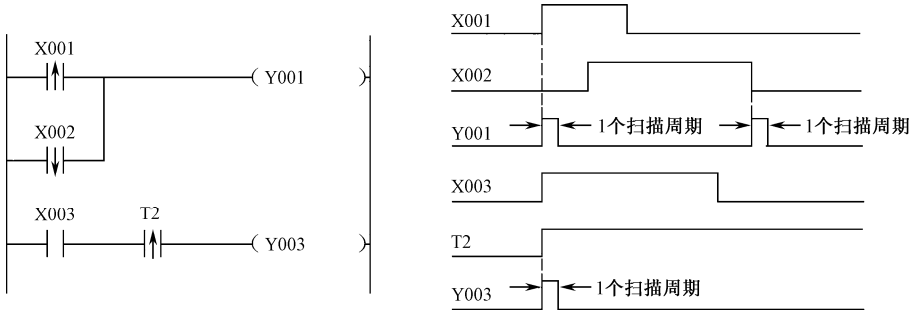


图 3-21　边沿检测脉冲指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LDP     X001        取脉冲上升沿
ORF     X002        并联脉冲下降沿
OUT     Y001
LD      X003
ANDP    T2          串联脉冲上升沿
OUT     Y003
```

实例分析

在图 3-21 中，在 X001 的上升沿或 X002 的下降沿，Y001 有输出，并且接通一个扫描周期。对于 Y003，仅当 X003 接通且 T2 的上升沿出现时，Y003 输出一个扫描周期。

3.2.7　置位与复位指令

1．指令符与功能

置位与复位指令的指令符与功能如表 3-11 所示。

表 3-11　置位与复位指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
SET	置位	令元件自保持 ON 状态	SET	Y、M、S
RST	复位	令元件自保持 OFF 状态	RST	Y、M、S、C、D、V、Z、积算型定时器 T

2．指令使用说明

（1）SET：置位指令，用于对输出继电器 Y、辅助继电器 M、状态继电器 S 的置位，也就是使操作对象置 1，并保持接通状态。

（2）RST：复位指令，用于对输出继电器 Y、辅助继电器 M、状态继电器 S 的复位，也就是使操作对象置 0，并保持断开状态。

（3）对同一元件可以多次使用 SET 和 RST 指令，顺序可任意，但最后执行者有效。

（4）在 SET 和 RST 指令之间可以插入别的指令。

（5）要使数据寄存器 D、变址寄存器 V/Z 的内容清零，也可使用 RST 指令。

（6）计数器 C、积算型定时器 T246～T255 的当前值复位及触点复位也可使用 RST 指令。

实例 8：置位与复位指令的应用

实例说明

通过本实例来说明置位与复位指令的应用。

实例实现

如图 3-22 所示。

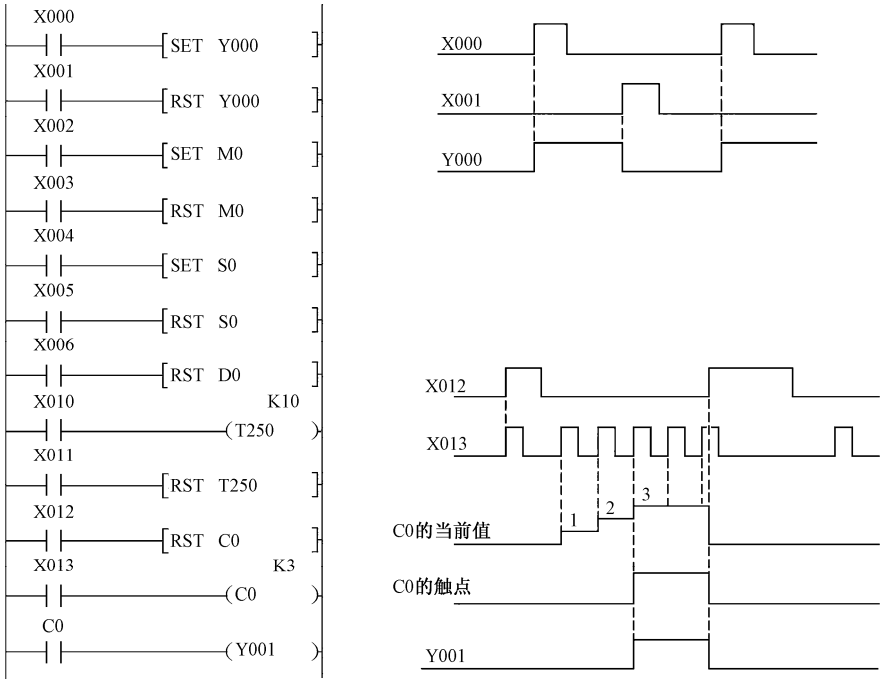


图 3-22　置位与复位指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
SET     Y000        置位，Y000 置“1”
LD      X001
RST     Y000        复位，Y000 置“0”
LD      X002
SET     M0          置位，M0 置“1”
LD      X003
RST     M0          复位，M0 置“0”
LD      X004
SET     S0          置位，S0 置“1”
LD      X005
RST     S0          复位，S0 置“0”
LD      X006
RST     D0          复位，D0 内容清零
LD      X010
OUT     T250  K10
```

```
LD      X011
RST     T250        复位，T250 计时清零
LD      X012
RST     C0          复位，C0 计数清零
LD      X013
OUT     C0    K3
LD      C0
OUT     Y001
```

实例分析

在图 3-22 中，X000 一旦接通，即使再断开，Y000 也保持接通；X001 接通后，即使再断开，Y000 也保持断开；对于 M、S 也是同样。

当 X006 接通时，数据寄存器 D0 的当前值清零。

当 X011 接通时，积算型定时器 T250 的当前值复位。

当 X012 接通时，计数器 C0 的当前值复位，其触点断开，同时计数器恢复到设定值，输出继电器 Y001 断开。

3.2.8 脉冲输出指令

1．指令符与功能

脉冲输出指令的指令符与功能如表 3-12 所示。

表 3-12　脉冲输出指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
PLS	上升沿脉冲	上升沿微分输出	⊣PLS⊢	除特殊的 M 以外的 M、Y
PLF	下降沿脉冲	下降沿微分输出	⊣PLF⊢	除特殊的 M 以外的 M、Y

2．指令使用说明

（1）PLS：脉冲上升沿微分输出指令；PLF：脉冲下降沿微分输出指令。

（2）PLS 和 PLF 指令只能用于输出继电器 Y 和辅助继电器 M（不包括特殊辅助继电器）。

（3）使用 PLS 指令时，仅在驱动输入状态为 ON 后的一个扫描周期内，输出继电器 Y 和辅助继电器 M 动作。

（4）使用 PLF 指令时，仅在驱动输入状态为 OFF 后的一个扫描周期内，输出继电器 Y 和辅助继电器 M 动作。

实例 9：脉冲输出指令的应用

实例说明

通过本实例来说明脉冲输出指令的应用。

实例实现

如图 3-23 所示。

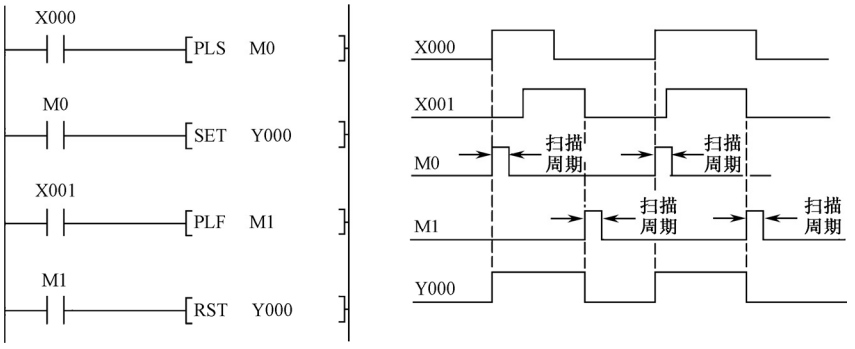


图 3-23　脉冲输出指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
PLS     M0
LD      M0
SET     Y000
LD      X001
PLF     M1
LD      M1
RST     Y000
```

实例分析

在图 3-23 中，M0 仅在 X000 的常开触点由断开变为接通（X000 的上升沿）时的 1 个扫描周期内为 ON，同时使得输出继电器 Y000 接通（ON）并保持；M1 仅在 X001 的常开触点由接通变为断开（X001 的下降沿）时的 1 个扫描周期内为 ON，同时使得输出继电器 Y000 断开（OFF）并保持。

3.2.9　取反指令

1．指令符与功能

取反指令的指令符与功能如表 3-13 所示。

表 3-13　取反指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
INV	取反	逻辑运算结果取反	—/—	无

2．指令使用说明

（1）INV：取反指令，它将使用 INV 指令之前的运算结果取反。

（2）INV 指令为不带软元件编号的独立指令，在梯形图中用一条 45°短斜线表示。

（3）INV 指令不能单独占用一条电路支路，也不能直接与左母线相连。

例如，在图 3-24 中，如果 X001 状态为 ON，则 Y000 状态为 OFF；反之，则 Y000 状态为 ON。

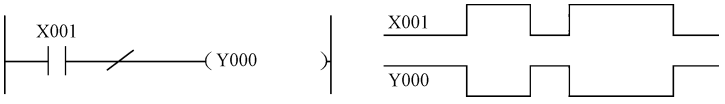


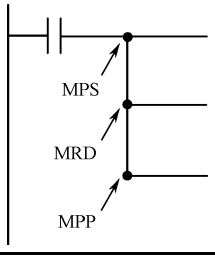
图 3-24　取反指令的应用

3.2.10　栈操作指令

1．指令符与功能

栈操作指令的指令符与功能如表 3-14 所示。

表 3-14　栈操作指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
MPS	进栈	运算存储		无
MRD	读栈	存储读出		无
MPP	出栈	存储读出与复位		无

2．指令使用说明

（1）FX_{2N} 有 11 个存储运算中间结果的存储器，称为堆栈存储器，如图 3-25 所示。堆栈采用先进后出的数据存取方式。

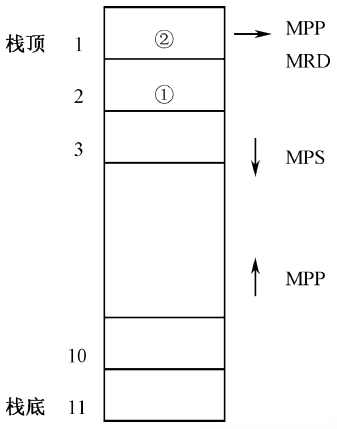


图 3-25　堆栈存储器

（2）MPS：进栈指令，将多重电路的公共触点或电路块先存储起来，以便后面的多重输出支路使用。使用一次 MPS 指令，即将此时刻的运算结果送入栈的第一层存储。再使用 MPS 指令，又将该时刻的运算结果送入栈的第一层存储，而将先前送入存储的数据依次移到栈的下一层。如图 3-26 所示，堆栈存储器中的①是第一次入栈的数据，②是第二次入栈的数据。

（3）MRD：读栈指令，读取存储在堆栈最上层（电路分支处）的运算结果，将下一个触点强制性地连接到该点。读栈后堆栈内的数据不会上移或下移。MRD 指令可多次连续重复使用，但不能超过 24 次。

（4）MPP：出栈指令，弹出堆栈存储器的运算结果，首先将下一触点连接到该点，然

后从堆栈中去掉分支点的运算结果。使用 MPP 指令时，堆栈中各层的数据向上移动一层，最上层的数据在弹出后从栈内消失。

（5）多重电路的第一个支路前使用 MPS 进栈指令，多重电路的中间支路前使用 MRD 读栈指令，多重电路的最后一个支路前使用 MPP 出栈指令。

（6）MPS 和 MPP 的使用必须少于 11 次，并且要成对出现。

（7）MPS、MRD、MPP 这组指令为不带软元件编号的独立指令。

实例 10：栈操作指令的应用

实例说明

通过本实例来说明栈操作指令的应用。

实例实现

如图 3-26 所示。

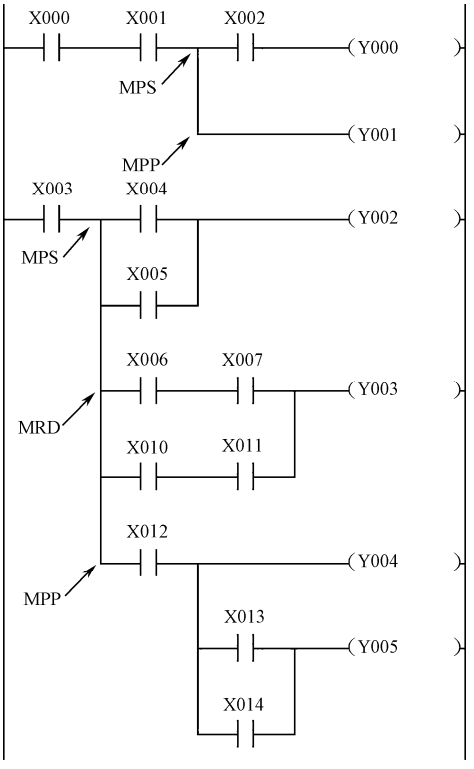


图 3-26　栈操作指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
AND     X001
```

```
MPS
AND     X002
OUT     Y000
MPP
OUT     Y001
LD      X003
MPS
LD      X004
OR      X005

ANB
OUT     Y002
MRD
LD      X006
AND     X007
LD      X010
AND     X011
ORB
ANB
OUT     Y003
MPP
AND     X012
OUT     Y004
LD      X013
OR      X014
ANB
OUT     Y005
```



实例分析

在图 3-26 中，利用 MPS 指令存储得出的中间运算结果驱动 Y000；用 MPP 指令使存储出栈，再驱动 Y001；X002、Y000 两者和 Y001 之间不是纵接输出的关系。

X004 与 X005 并联后，作为一个电路块与 X003 串联；X010 与 X011 串联后，作为一个电路块与 X006 和 X007 组成的电路块并联；X006、X007、X010 和 X011 作为一个电路块与 X003 串联。

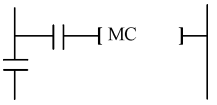
X013 与 X014 并联后，作为一个电路块与 X012 串联；X013、X014、Y005 三者和 Y004 之间是纵接输出的关系。

3.2.11 主控触点指令

1．指令符与功能

主控触点指令的指令符与功能如表 3-15 所示。

表 3-15　主控触点指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
MC	主控	主控电路块起点		除特殊的 M 以外的 M、Y
MCR	主控复位	主控电路块终点		N（N0～N7）

2．指令使用说明

（1）在编程时，经常会遇到许多线圈同时受一个或一组触点控制的情况，如果在每个线圈的控制电路中都串入同样的触点，将占用很多存储单元，主控指令可以解决这一问题。使用主控指令的触点称为主控触点，它在梯形图中与一般的触点垂直，主控触点是控制一组电路的总开关。

（2）MC：主控指令，在主控电路块起点使用，用于表示主控区的开始，该指令后跟操作数 N（0～7，嵌套层数）和操作元件 Y、M（不包括特殊辅助继电器）。

（3）MC 指令的操作元件 Y、M 不能重复使用。

（4）MC 指令必须有条件，当条件具备时，执行该主控段内的程序；条件不具备时，该主控段内的程序不执行。此时该主控段内的积算型定时器、计数器、用置位/复位指令驱动的软元件保持其原来的状态，普通定时器和用 OUT 指令驱动的软元件状态均变为 OFF 状态。

（5）MCR：主控复位指令，在主控电路块终点使用，用于表示主控区的结束，该指令后跟操作数 N（0～7）。

（6）与主控触点相连的触点必须用 LD 或 LDI 指令，即执行 MC 指令后，母线移到主控触点的后面，MCR 使母线回到原来的位置。MC 与 MCR 必须成对使用。

（7）在 MC 指令内再使用 MC 指令时，称为嵌套，嵌套层数 *N* 的编号就顺次增大；主控返回时用 MCR 指令，嵌套层数 *N* 的编号就顺次减小。

（8）在没有嵌套结构时，可再次使用 N0 编制程序，N0 的使用次数没有限制。

实例 11：主控触点指令的应用

实例说明

通过本实例来说明主控触点指令的应用。

实例实现

如图 3-27 所示。

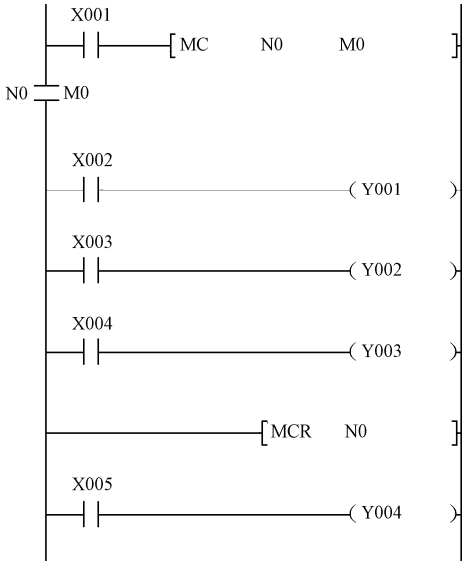


图 3-27　主控触点指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
MC      N0    M0
LD      X002
OUT     Y001
LD      X003
OUT     Y002
LD      X004
OUT     Y003
MCR     N0
LD      X005
OUT     Y004
```

实例分析

在图 3-27 中，常开触点 X001 接通时，主控触点 M0 闭合，执行从 MC 到 MCR 的指令，输出继电器 Y001、Y002、Y003 线圈分别由 X002、X003、X004 的通断来决定各自的输出状态。而当常开触点 X001 断开时，主控触点 M0 断开，MC 到 MCR 指令之间的程序不执行，此时无论 X002、X003、X004 是否通断，输出继电器 Y001、Y002、Y003 线圈全部处于“OFF”状态。输出继电器 Y004 线圈不在主控范围内，所以其状态不受主控触点的限制，仅取决于 X005 的通断。

3.2.12　空操作指令

1．指令符与功能

空操作指令的指令符与功能如表 3-16 所示。

表 3-16　空操作指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
NOP	空操作	无动作	无	无

2．指令使用说明

（1）NOP：空操作指令，该指令是一条无动作、不带软元件编号的独立指令。

（2）用 NOP 指令代替已写入的指令，可以改变电路。

（3）在程序中加入 NOP 指令，在改变或追加程序时，可以减少步序号的改变。

（4）执行程序全清除操作后，全部指令都变成 NOP。

3.2.13　程序结束指令

1．指令符与功能

程序结束指令的指令符与功能如表 3-17 所示。

表 3-17　程序结束指令的指令符与功能

指 令 符	名　称	功　能	梯形图表示	指 令 对 象
END	结束	输入/输出处理，程序回到第 0 步	⊣ END ⊢	无

2．指令使用说明

（1）END：结束指令，用于程序的结束，该指令是一条不带软元件编号的独立指令。

（2）PLC 按照循环扫描的工作方式，首先进行输入处理，然后进行程序处理，当处理到 END 指令时进行输出处理。所以，若在程序中写入 END 指令，则 END 指令以后的程序就不再执行，直接进行输出处理；若不写入 END 指令，则从用户程序的第一步执行到最后一步。因此，若将 END 指令放在程序结束处，则只执行第一步至 END 这一步之间的程序，可以缩短扫描周期。

（3）在调试程序时，将 END 指令插入各段程序之后，可依次检出各程序段的动作。这时，在确认前面电路块动作正确无误后，依次删去 END 指令，这种方法对程序的查错很有用处。

（4）执行 END 指令时，也刷新监视定时器（检查扫描周期是否过长的定时器）。

3.3　FX_{2N} 的功能指令

对于一些简单的程序设计，只需要使用基本逻辑指令，但对于一些较为复杂的控制，基本逻辑指令就显得无能为力了。FX_{2N} PLC 具有大量功能强大的功能指令（也称应用指令），主要用于数据的运算、转换及其他控制功能，这样就为编写复杂的程序提供了方便，往往一条功能指令就可以实现几十条基本逻辑指令才可以实现的功能，还有很多功能指令具有基本逻辑指令难以实现的功能。

FX_{2N} 的功能指令可分为程序流程、传送与比较、算术与逻辑运算、循环与移位、数据处理、高速处理、方便指令、外围设备 I/O、外围设备 SER、浮点运算、定位、时钟运算、触点比较等十几大类，共 128 种。

3.3.1 功能指令的基本规则

1．功能指令的表示形式

与基本逻辑指令不同，功能指令不含表达梯形图符号间相互关系的成分，而是直接表达本指令要做什么。功能指令用编号 FNC00～FNC294 表示，每条功能指令都有一个指令助记符。例如，FNC12 的助记符是 MOV（传送）；FNC45 的助记符是 MEAN（求平均数）。有的功能指令只需指定助记符，但更多的功能指令在指定助记符的同时还需要指定操作元件，操作元件由 1～4 个操作数组成，其表示形式如图 3-28 所示。

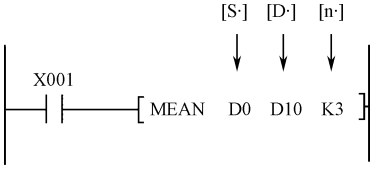


图 3-28　功能指令的表示形式

这是一条求平均数的功能指令。X001 是指令的执行条件，当 X001 接通时，取出 D0～D2 的连续 3 个数据寄存器中的内容做算术平均后送入 D10 数据寄存器中；当 X001 断开时，此指令不执行。

图 3-28 中[S]、[D]、[n]所表示的意义如下：

[S]称为源操作数，其内容不随指令执行而变化。源操作数的数量多时，以[S1]、[S2]等表示。以加上“·”符号表示使用变址方式，默认为无“·”，表示不能使用变址方式。

[D]称为目标操作数，其内容随指令执行而改变。目标操作数的数量多时，以[D1]、[D2]等表示。以加上“·”符号表示使用变址方式，默认为无“·”，表示不能使用变址方式。

[n]称为其他操作数，既不作为源操作数，又不作为目标操作数，常用来表示常数，或者作为源操作数或目标操作数的补充说明。可用十进制的 K、十六进制的 H 和数据寄存器 D 来表示。在需要表示多个这类操作数时，可用[n1]、[n2]等表示，以加上“·”符号表示使用变址方式。此外其他操作数还可用[m]来表示。

2．数据长度和执行形式

1）数据长度

功能指令按处理数据的长度分为 16 位指令和 32 位指令。其中，32 位指令在助记符前加“D”；若助记符前无“D”，则为 16 位指令。

在应用 32 位指令时，用元件号相邻的两个元件组成元件对（低位元件存储 32 位数据的低 16 位，高位元件存储 32 位数据的高 16 位），元件对的首地址用奇数、偶数均可，但建议元件对的首地址统一用偶数编号，以免在编程时弄错。

在图 3-29 中，当 X000 接通时，将 D10 中的数据送到 D12 中（处理 16 位数据）；当 X001 接通时，将 D21 和 D20 中的数据分别送到 D22 中（处理 32 位数据）。

注意：高速计数器 C200～C255 是 32 位的，因此不能作为 16 位指令的操作数使用。

2）执行形式

功能指令有脉冲执行型和连续执行型两种执行形式。脉冲执行型指令只有在条件满足

时才执行一次，其他时刻不执行；连续执行型指令在条件满足时的每个扫描周期都被重复执行。在指令助记符后标有“P”的为脉冲执行型，无“P”的为连续执行型，如图 3-30 所示。32 位指令和脉冲执行型可以同时使用。

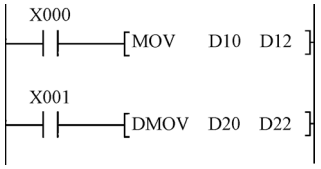


图 3-29　数据长度说明

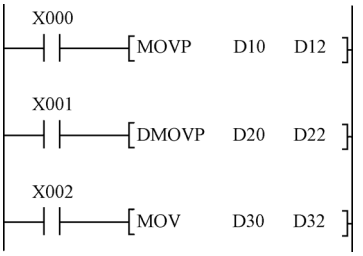


图 3-30　功能指令执行形式说明

在图 3-30 中，前两条为脉冲执行型指令，分别当 X000 或 X001 由断开转为接通时才执行一次，其他时刻不执行；最后一条为连续执行型指令，当 X002 接通时每个扫描周期都被重复执行。

有些应用指令，如 INC（加 1）、DEC（减 1）、XCH（交换）等，用连续执行形式时要特别留心。

3．操作数

操作数按功能分为有源操作数、目标操作数和其他操作数；按组成形式分为位元件、字元件和常数。

1）位元件和字元件

只处理 ON/OFF 信息的软元件称为位元件，如 X、Y、M 和 S 等。处理数据的软元件称为字元件，如 T、C 和 D 等。

2）位元件的组合

位元件通过组合使用也可以处理数据。位元件的组合由 4 个位元件为一个基本单元组合成一组，表现形式为 KnX□、KnY□、KnM□、KnS□。其中，K 表示后面跟的是十进制数；n 表示组数，16 位操作时，n 为 l～4，32 位操作时，n 为 1～8；X□、Y□、M□、S□表示最低位的位元件号。例如，K1X000 表示由 X003～X000 组成的 4 位数据，X000 是最低位；K2Y000 表示由 Y007～Y000 组成的 8 位数据，Y000 是最低位；K4M10 表示由 M25～M10 组成的 16 位数据，M10 是最低位。

使用位元件的组合时应注意以下两点。

（1）不同数据长度之间进行数据传送时，如果是长数据向短数据传送，则长数据的高位保持不变；如果是短数据向长数据传送，则长数据的高位全部变零，如图 3-31 所示。

（2）在位元件的组合中，最低位的位元件号可以是任意的，但习惯上采用以 0 结尾的元件号，如 X000、Y010、M0、S0 等。

3）变址操作

在传送、比较等指令中，改变操作对象的组件地址是经常用到的操作。变址的方法是将变址寄存器 V 和 Z 这两个 16 位的寄存器放在各种寄存器的后面，充当操作数地址的偏移

量。操作数的实际地址就是寄存器的当前值及 V 和 Z 内容相加后的和。假定 Z0 的值为 4，V0 的值为 5，则

D5V0=D10　　D15Z0=D19　　T6Z0=T10　　C7Z0=C11　　K6V0=K11

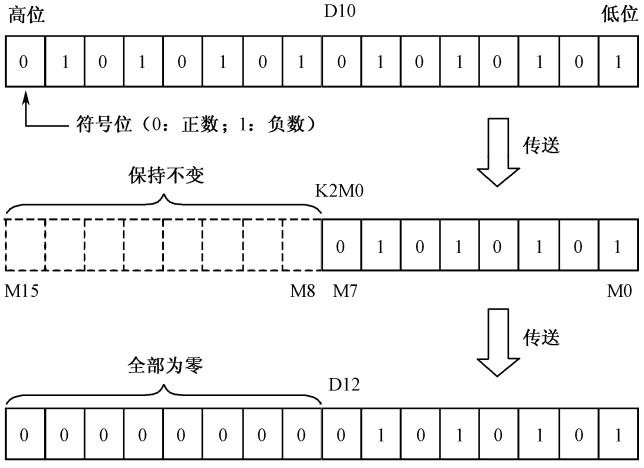


图 3-31　不同数据长度之间的传送

当源操作数或目标源操作数用[S]或[D]表示时，就能进行变址操作。对 32 位数据进行操作时，要将 V、Z 组合成 32 位（V，Z）来使用，这时 Z 为低 16 位，V 为高 16 位。

可以用变址寄存器进行变址的软元件有 X、Y、M、S、P、T、C、D、K、H、KnX、KnY、KnM、KnS。

利用变址修改 X、Y、KnX、KnY 的八进制软元件编号时，对应软元件编号的变化寄存器的内容经八进制换算后相加而得。

3.3.2　程序流程指令

PLC 的控制程序除常见的按顺序逐条执行情况外，在许多工程场合下还需按照控制要求改变程序的流向。用于这些控制要求的功能指令称为程序流程指令。程序流程指令如表 3-18 所示。

表 3-18　程序流程指令

编　号	助 记 符	指 令 名 称	编　号	助 记 符	指 令 名 称
FNC00	CJ	条件跳转	FNC05	DI	禁止中断
FNC01	CALL	子程序调用	FNC06	FEND	主程序结束
FNC02	SRET	子程序返回	FNC07	WDT	警戒时钟
FNC03	IRET	中断返回	FNC08	FOR	循环开始
FNC04	EI	允许中断	FNC09	NEXT	循环结束

1．条件跳转指令 CJ（FNC00）

条件跳转指令（表 3-19）用于当跳转条件成立时跳过 CJ 或 CJP 指令和指针标号之间的程序，从指针标号处连续执行，若条件不成立，则继续顺序执行，以减少程序执行扫描时

间，并使双线圈或多线圈成为可能。

表 3-19　CJ 指令

FNC00 CJ 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数：指针 P0～P127 指针编号可做变址修改

标号是跳转程序的入口标志地址，同一标号在程序中只能出现一次，不能重复使用。但是，同一标号可以多次被引用。也就是说，可以从不同的地方跳转到同一标号处。

跳转时，其他指令的执行情况如下。

（1）如果 Y、M、S 被 OUT、SET、RST 指令驱动，则跳转期间即使 Y、M、S 的驱动条件改变了，它们仍保持跳转发生前的状态，因为跳转期间根本不执行这些程序。

（2）如果普通定时器或计数器被驱动后发生跳转，则暂停计时和计数，并保留当前值；跳转指令不执行时，定时或计数继续工作。

（3）对于 T192～T199（专用于子程序）、积算型定时器 T246～T255 和高速计数器 C235～C255，若被驱动后再发生跳转，则即使该段程序被跳过，计时和计数仍然继续，其延时触点也能动作。

实例 12：条件跳转指令的应用

实例说明

在工业控制中经常会遇到自动和手动两种控制方式，采用条件跳转指令可完成自动/手动控制程序的切换。

实例实现

如图 3-32 所示。

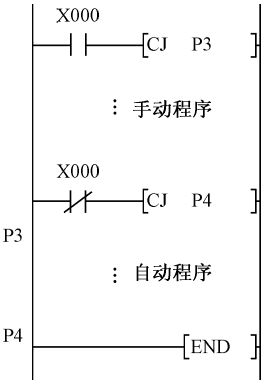


图 3-32　条件跳转指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
CJ      P3

……      手动程序

LDI     X000
CJ      P4
P3

……      自动程序

P4
END
```

实例分析

在图 3-32 中，X000 为切换方式开关。若 X000 接通，其常开触点闭合，执行 CJ P3 指令，程序跳转到 P3 处，执行自动程序，然后程序结束；若 X000 断开，其常开触点断开，不执行 CJ P3 指令，程序不跳转到 P3 处，顺序往下执行，则执行手动程序，然后由于常闭触点闭合，执行 CJ P4 指令，程序跳转到 P4 处，不执行自动程序，最后程序结束。

2．子程序调用指令 CALL（FNC01）和子程序返回指令 SRET（FNC02）

子程序是为了一些特定的控制要求编制的相对独立的程序。为了区别于主程序，规定在程序编排时，将主程序排在前边，子程序排在后边，并以主程序结束指令 FEND（FNC06）将这两部分隔开。

子程序调用指令 CALL 或 CALLP 用于在一定条件下调用并执行子程序，子程序返回用 SRET 指令，如表 3-20 所示。

表 3-20　CALL 和 SRET 指令

FNC01 CALL 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数：指针 P0～P127 指针编号可做变址修改 嵌套 5 层
FNC02 SRET	无操作数

CALL 指令必须和 FEND、SRET 一起使用。子程序标号要写在主程序结束指令 FEND 之后。标号和子程序返回指令 SRET 间的程序构成了子程序的内容。当主程序带有多个子程序时，子程序要依次放在主程序结束指令 FEND 之后，并用不同的标号相区别。

子程序标号范围为 P0～P127，这些标号与条件跳转指令中所用的标号相同，而且在条件跳转中已经使用了标号，子程序不能再用。同一标号只能使用一次，而不同的 CALL 指令可以多次调用同一标号的子程序。

实例 13：子程序调用和返回指令的应用

实例说明

通过本实例来说明子程序调用和返回指令的应用。

实例实现

如图 3-33 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
CALL    P10
LD      X001
OUT     Y001
……
```

```
FEND
P10
LD          X002
OUT         Y002
……
SRET
END
```

实例分析

在图 3-33 中，当 X000 接通时，CALL 指令使程序调至标号 P10 处，同时将调用指令后的一条指令的地址作为断点保存，并从 P10 开始逐条顺序执行子程序，即执行指令 LD X002，OUT Y002……直到执行 SRET 指令时，程序返回主程序断点处，继续执行主程序，即执行指令 LD X001，OUT Y001……直到 FEND 指令，主程序结束。

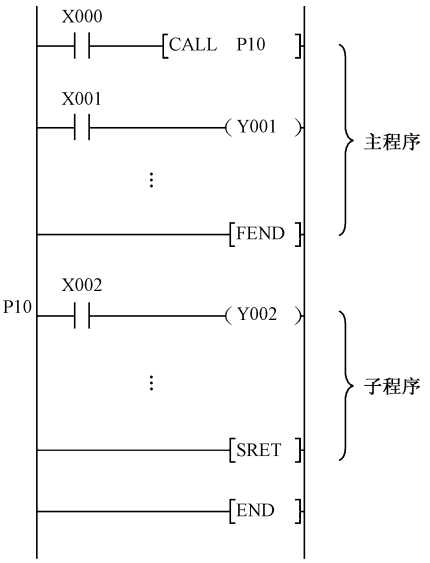


图 3-33 子程序调用和返回指令的应用

3．中断返回指令 IRET（FNC03）、允许中断指令 EI（FNC04）和禁止中断指令 DI（FNC05）

PLC 通常处于禁止中断状态，由中断允许指令 EI 和禁止中断指令 DI 组成允许中断范围，EI 和 DI 之间的程序段为允许中断区间。当程序处理到允许中断的区间，出现中断信号时，则停止执行主程序，去执行相应的中断子程序。处理到中断返回指令 IRET 时再返回断点，继续执行主程序，如表 3-21 所示。

表 3-21 IRET、EI、DI 指令

FNC03 IRET	无 操 作 数
FNC04 EI	无 操 作 数
FNC05 DI	无 操 作 数

使用中断相关指令时应注意以下事项。

（1）FX_{2N} 设置有 9 个中断源，9 个中断源可以同时发出中断请求信号，多个中断依次发生时，以先发生为优先；完全同时发生时，中断指针号较低的有优先权。

（2）当 M8050～M8058 状态为 ON 时，禁止执行相应 I0□□～I8□□的中断；M8059 状态为 ON 时，禁止所有计数器中断。

（3）无须中断禁止时，可只用 EI 指令，不必用 DI 指令。

（4）执行一个中断子程序时，如果在中断子程序中有 EI 和 DI 指令，可实现二级中断嵌套；否则，禁止其他中断。

（5）中断信号的脉宽必须大于 200μs。

（6）如果中断信号产生在禁止中断区间（DI～EI），则这个中断信号被存储，并在 EI 指令后执行。

实例 14：中断指令的应用

实例说明

通过本实例来说明中断指令的应用。

实例实现

如图 3-34 所示。

示例对应的语句表如下：

```
EI
LD      X020
OUT     M8050
……
DI
……
FEND
I000
LD      X000
OUT     Y006
……
IRET
I101

LD      X001
OUT     Y007
……
IRET
END
```

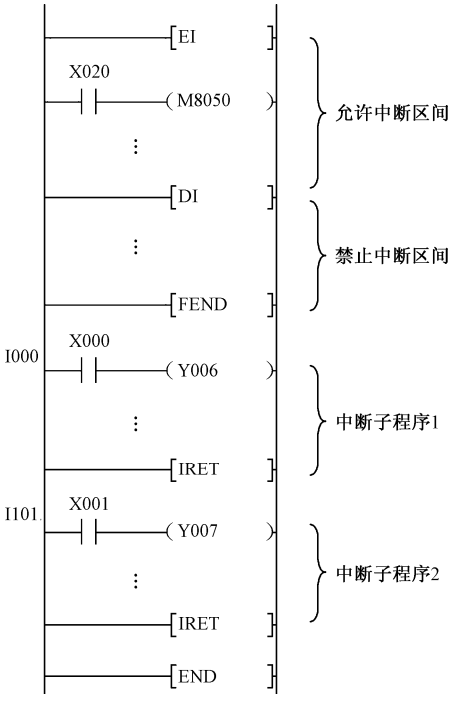


图 3-34　中断指令的应用

实例分析

在图 3-34 中，I000 的含义为当输入 X000 的状态从 ON→OFF 变化时（下降沿），执行由该指针作为标号后面的中断子程序，并在执行 IRET 指令后返回；I101 的含义为当输入 X001 的状态从 OFF→ON 变化时（上升沿），执行由该指针作为标号后面的中断子程序，并在执行 IRET 指令后返回。

当程序处理到允许中断区间时，若中断源 X000 有一个下降沿，则转入 I000 为标号的中断子程序 1，执行完毕后返回主程序，但 X000 可否引起中断还受 M8050 控制，当 X020 接通时，M8050 控制 X000 无法中断；若中断源 X001 有一个上升沿，则转入 I101 为标号的中断子程序 2，执行完毕后返回主程序。

4．主程序结束指令 FEND（FNC06）

FEND 指令如表 3-22 所示，表示主程序结束。执行此指令与执行 END 指令的作用相同，即进行输入处理、输出处理、警戒时钟刷新等，完成以后返回到程序的第 0 步。

表 3-22　FEND 指令

FNC06 FEND	无 操 作 数

使用 FEND 指令时应注意以下事项。

（1）CALL 或 CALLP 指令的标号 P 用于在 FEND 指令后编程，必须有 SRET 指令。中断指针 I 也在 FEND 指令后编程，必须有 IRET 指令。

（2）使用多个 FEND 指令的情况下，应在最后的 FEND 指令与 END 指令之间编写子程序或中断子程序。

（3）当程序中没有子程序或中断子程序时，也可以没有 FEND 指令。但是程序的最后必须用 END 指令结尾。所以，子程序及中断子程序必须写在 FEND 指令与 END 指令之间。

实例 15：主程序结束指令的应用

实例说明

通过本实例说明主程序结束指令的应用。

实例实现

如图 3-35 所示。

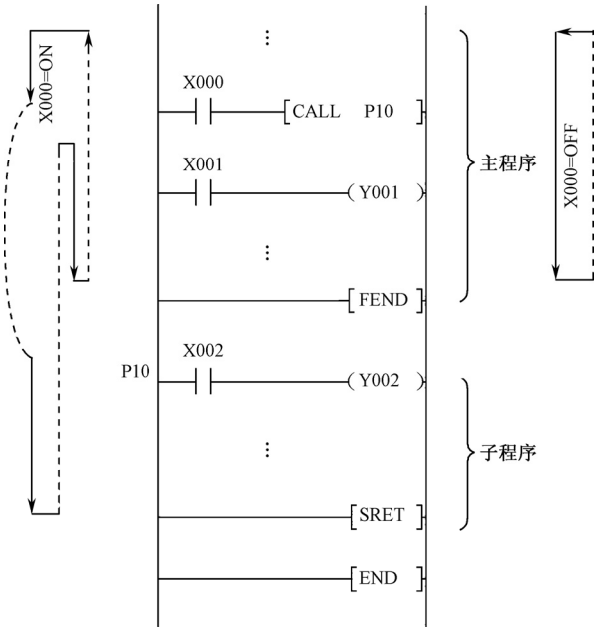


图 3-35　主程序结束指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
……
LD      X000
CALL    P10
LD      X001
OUT     Y001
……
FEND
P10
LD      X002
```

```
        OUT     Y002
        ……
        SRET
        END
```

实例分析

在图 3-35 中，当 X000 接通时，CALL 指令使程序调至标号 P10 处，并从 P10 开始逐条顺序执行子程序，直到 SRET 指令时，程序返回主程序断点处，继续执行主程序，直到 FEND 指令主程序结束，返回第 0 步程序。

当 X000 断开时，逐条顺序执行主程序，直到 FEND 指令主程序结束，返回第 0 步程序。

在图 3-35 中，左、右两侧实线表示按箭头方向逐条执行指令，虚线表示跳转或返回。

5．警戒时钟指令 WDT（FNC07）

WDT 指令（如表 3-23 所示）用来在程序中刷新监视定时器（D8000）。在程序的执行过程中，如果扫描的时间（从第 0 步到 END 或 FEND 语句）超过 200ms，PLC 将停止运行。在这种情况下，使用 WDT 指令可以刷新监视定时器，使程序执行到 END 或 FEND。除此之外，WDT 指令还可以用于分割长扫描时间的程序。

表 3-23　WDT 指令

FNC07 WDT 脉冲/连续执行	无 操 作 数

实例 16：警戒时钟指令的应用

实例说明

通过本实例来说明警戒时钟指令的应用。

实例实现

如图 3-36 所示。

实例分析

如图 3-36（a）所示，将一个 240ms 的程序分成了两个扫描时间为 120ms 的程序，在合适的程序步中插入 WDT 指令，用以刷新监视定时器，以使顺序程序得以继续执行到 END。这样处理后，就可以将一个运行时间大于 200ms 的程序用 WDT 指令分成几部分，使每部分的执行时间都小于 200ms。

如果希望执行程序的每次扫描时间均超过 200ms，可以将限定值写入特殊数据寄存器 D8000 中，如图 3-36（b）所示。在 PLC 从 STOP 转为 RUN 时，M8002 瞬时接通一个扫描周期，用数据传送指令将常数 300 写入 D8000，同时将监视定时器时间由 200ms 改为 300ms。

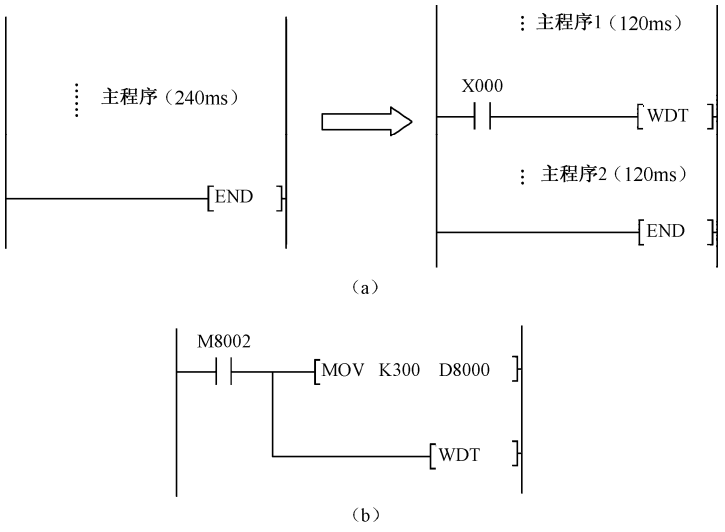


图 3-36　警戒时钟指令的梯形图

6．循环开始指令 FOR（FNC08）和循环结束指令 NEXT（FNC09）

FOR 和 NEXT 为循环开始和循环结束指令，如表 3-24 所示。在程序运行时，位于 FOR 和 NEXT 之间的程序循环执行[n]次后，再执行 NEXT 指令后的程序。循环次数[n]由 FOR 后的数值指定，循环次数范围为 1～32 767。例如，循环次数小于 1 时，被当做 1 处理，只循环一次。

表 3-24　FOR 和 NEXT 指令

FNC08 FOR 16 位指令 连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z
FNC09 NEXT	无操作数

使用 FOR 和 NEXT 指令时应注意以下事项。

（1）FOR 和 NEXT 必须成对使用，要求 FOR 在前，NEXT 在后。

（2）循环最多可嵌套 5 层。

（3）在循环中可利用 CJ 指令在循环没结束时跳出循环体。

（4）NEXT 指令应放在 FEND 和 END 指令的前面。

（5）循环次数多时，扫描周期会延长，可能出现监视定时器错误。

实例 17：循环指令的应用

实例说明

通过本实例来说明循环指令的应用。

实例实现

如图 3-37 所示。

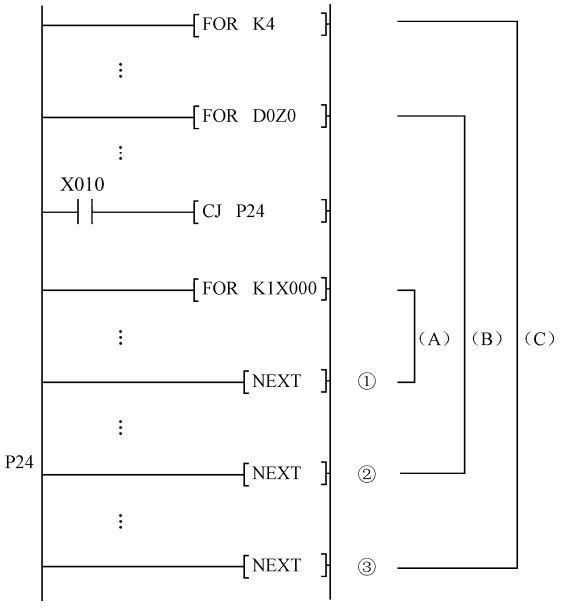


图 3-37　循环指令的应用

实例分析

图 3-37 所示的程序包含了三重循环的嵌套。（C）的程序循环次数由 K4 指定为 4 次，执行 4 次后执行 NEXT③以后的指令。若在（C）的程序执行一次的过程中，数据寄存器 D0Z0 的内容为 7，则（B）的程序执行 7 次。因此，（B）的程序合计一共被执行了 28 次。若不想执行 FOR～NEXT 间的程序，利用 CJ 指令，当 X010 接通时，跳转到 P24 处；当 X010 断开时，如果 K1X000 的内容为 6，则在（B）的程序执行一次的过程中，（A）被执行了 6 次。因此，（A）总共被执行了 4×7×6=168 次。

3.3.3　数据传送和比较指令

数据传送和比较指令如表 3-25 所示。数据传送指令用于获得程序的初始工作数据、PLC 内部数据的存取管理、运算处理结果向输出端口传送等。数据比较指令用于数据之间的大小比较。

表 3-25　数据传送和比较指令

编　号	助 记 符	指 令 名 称	编　号	助 记 符	指 令 名 称
FNC10	CMP	比较	FNC15	BMOV	块传送
FNC11	ZCP	区间比较	FNC16	FMOV	多点传送
FNC12	MOV	传送	FNC17	XCH	数据交换
FNC13	SMOV	移位传送	FNC18	BCD	BCD 变换
FNC14	CML	取反传送	FNC19	BIN	BIN 变换

1．比较类指令

1）比较指令 CMP（FNC10）

比较指令 CMP（如表 3-26 所示）是将源操作数[S1]和源操作数[S2]进行比较，结果送到目标操作数[D]中。

表 3-26　CMP 指令

FNC10 CMP 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S1·][S2·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z X　Y　M　S [D·]

两个源操作数[S1]和[S2]都按二进数值处理，其最高位为符号位，如果该位为“0”，则表示该数为正；如果该位为“1”，则表示该数为负。

目标操作数[D]由 3 个位软元件组成，指令中标明的是第一个软元件，另外两个软元件紧随其后。

当执行条件满足时，比较指令执行，对两个源操作数[S1]和[S2]进行比较，结果如下：当[S1]>[S2]时，[D]=ON；当[S1]=[S2]时，[D+1]=ON；当[S1]<[S2]时，[D+2]=ON。

执行比较操作后，即使其执行条件被破坏，目标操作数的状态仍保持不变，除非用复位指令将其复位。

2）区间比较指令 ZCP（FNC11）

区间比较指令 ZCP（如表 3-27 所示）是将源操作数[S1]、[S2]的值与[S]的内容进行比较，结果送到目标操作数[D]中。

表 3-27　ZCP 指令

FNC11 ZCP 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S1·][S2·][S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z X　Y　M　S [D·]

源操作数[S1]和[S2]确定区间比较范围，[S2]的数值不能小于[S1]。

所有源操作数都按二进数值处理，其最高位为符号位，如果该位为“0”，则表示该数为正；如果该位为“1”，则表示该数为负。

目标操作数[D]由 3 个位软元件组成，指令中标明的是第一个软元件，另外两个软元件紧随其后。

当执行条件满足时，比较指令执行，将源操作数[S1]、[S2]的值与[S]的内容进行比较，结果如下：当[S1]>[S]时，[D]=ON；当[S1]≤[S]≤[S2]时，[D+1]=ON；当[S]>[S2]时，

[D+2]=ON。

执行比较操作后，即使其执行条件被破坏，目标操作数的状态仍保持不变，除非用复位指令将其复位。

实例 18：比较指令和区间比较指令的应用

实例说明

通过本实例来说明比较指令和区间比较指令的应用。

实例实现

如图 3-38 所示。

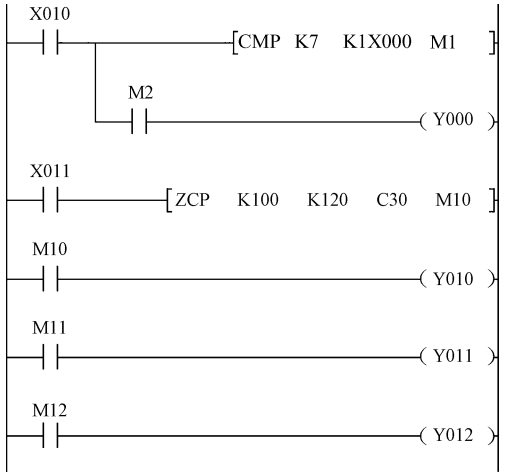


图 3-38　比较指令和区间比较指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X010
CMP     K7      K1X000          M1
AND     M2
OUT     Y000
LD      X011
ZCP     K100    K120    C30     M10
LD      M10
OUT     Y010
LD      M11
OUT     Y011
LD      M12
OUT     Y012
```

实例分析

在图 3-38 中，当 X010 断开时，CMP 指令不执行，M1～M3 保持比较前的状态。当

X010 接通时，执行 CMP 指令，若 X000～X003 的状态分别为 ON、ON、ON 和 OFF（相当于二进制 0111，十进制的 7），则 M2 的状态为 ON，Y000 接通。

当 X011 断开时，ZCP 指令不执行，M10～M12 保持比较前的状态。当 X011 接通时，执行 ZCP 指令，若 K100>C30 的当前值，则 M10 的状态为 ON，Y010 接通；若 K100≤C30 的当前值≤K120，则 M11 的状态为 ON，Y011 接通；若 C30 的当前值>K120，则 M12 的状态为 ON，Y012 接通。

2．传送类指令

1）传送指令 MOV（FNC12）

传送指令 MOV（如表 3-28 所示）将源操作数[S]传送到目标操作数[D]中。传送时，数据是利用二进制格式传送的。

表 3-28　MOV 指令

FNC12 MOV 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

2）移位传送指令 SMOV（FNC13）

移位传送指令 SMOV（如表 3-29 所示）将源操作数[S]（二进制）自动转换成 4 位 BCD 码，再将从右起第[m1]位开始的[m2]位 BCD 码传送到目标操作数[D]从右起第[n]位开始的[m2]位中，传送后的目标操作数[D]中的 BCD 码自动转换成二进制数。[m1]、[m2]和[n]的取值范围为 1～4。

3）取反传送指令 CML（FNC14）

取反传送指令 CML（如表 3-30 所示）将源操作数[S]按二进制的位逐位取反并传送到目标操作数[D]中。

表 3-29　SMOV 指令

FNC13 SMOV 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·] [m1],[m2],[n]

表 3-30　CML 指令

FNC14 CML 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

4）块传送指令 BMOV（FNC15）

块传送指令 BMOV（如表 3-31 所示）将源操作数[S]组件中指定元件开始的[n]个数据组成的数据块的内容传送到目标操作数[D]组件中。

表 3-31　BMOV 指令

FNC15 BMOV 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [n]　[D·]

5）多点传送指令 FMOV（FNC16）

多点传送指令 FMOV（如表 3-32 所示）将源操作数[S]中的数据传送到目标操作数[D]指定开始的[n]个元件中去，这[n]个元件中的数据完全相同，常用于对某一段数据寄存器清零或置相同的初始值。

表 3-32　FMOV 指令

FNC16 FMOV 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [n]　[D·]

实例 19：各种传送指令的应用

实例说明

通过本实例来说明各种传送指令的应用。

实例实现

如图 3-39 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
MOV     K50     D1
LD      X001
OUT     T0      D1
LD      X002
MOV     T0      D2
LD      X003
MOV     K3      K1Y000
LD      X004
SMOV    D10     K4      K2      D12     K3
LD      X005
CML     D20     K1Y010
```

```
LD      X006
BMOV    D30     D40     K3
LD      X007
FMOV    K0      D50     K10
```

实例分析

在图 3-39 中，当 X000 接通时，MOV 指令将 K50 传送到 D1 中。

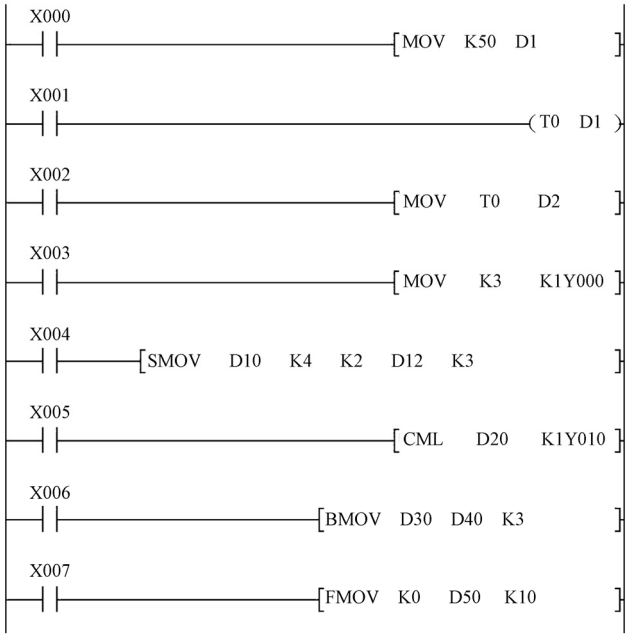


图 3-39　各种传送指令的应用

当 X001 接通时，OUT 指令将 D1 中的数据设为 T0 的设定值；当 X002 接通时，MOV 指令将 T0 中的当前值传送到 D2 中。

当 X003 接通时，MOV 指令将 K3（相当于二进制的 0011）传送到 Y000～Y003 中，Y000、Y001 接通，Y002、Y003 断开。

当 X004 接通时，SMOV 指令将 D10 中右起第 4 位（[m1]=4）开始的两位（[m2]=2）BCD 码传送到 D12 右起第 3 位（[n]=3）开始的两位中，D12 中的 BCD 码会自动转换为二进制数，而 D12 中的第 1 位和第 4 位 BCD 码不变。

当 X005 接通时，CML 指令将 D20 的低 4 位取反后传送到 Y013～Y010 中。

当 X006 接通时，BMOV 指令将 D30～D32 中的内容传送到 D40～D42 中去，传送后 D30～D32 中的内容不变，而 D40～D42 内容相应地被 D30～D32 内容取代。

当 X007 接通时，FMOV 指令将 K0 传送到 D50～D59 中。

3．数据交换类指令

1）数据交换指令 XCH（FNC17）

数据交换指令 XCH（如表 3-33 所示）将两个目标操作数[D1]和[D2]中的内容互相交换。

表 3-33　XCH 指令

FNC17 XCH 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [D1·][D2·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z

2）数据变换指令

（1）变换指令 BCD（FNC18）

变换指令 BCD（如表 3-34 所示）将源操作数[S]中的二进制数转换成 BCD 码送到目标操作数[D]中，常用于将 PLC 中的二进制数变换成 BCD 码以驱动七段码显示器。

表 3-34　BCD 指令

FNC18 BCD 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

（2）变换指令 BIN（FNC19）

变换指令 BIN（如表 3-35 所示）将源操作数[S]中的 BCD 码转换成二进制数送到目标操作数[D]中，常用于将 BCD 数字开关的设定值输入 PLC 中。

表 3-35　BIN 指令

FNC19 BIN 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

实例 20：数据交换和数据变换指令的应用

实例说明

通过本实例来说明数据交换和数据变换指令的应用。

实例实现

如图 3-40 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
XCHP    D10     D11
LD      X001
MOV     K5028   D0
```

```
BCD     D0      K4Y000
LD      X002
BIN     K2X000  D13
```

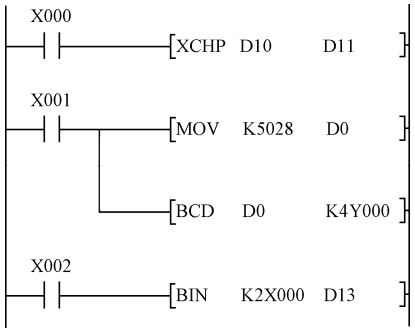


图 3-40　数据交换和数据变换指令的应用

实例分析

在图 3-40 中，当 X000 由断开转为接通时，将 D10 和 D11 中的数据相互交换一次。

当 X001 接通时，先将 K5028 传送到 D0 中，然后将 D0 的内容转换成 BCD 码送到输出位组件 K4Y000（Y000～Y017）中，如图 3-41 所示。可以看出，D0 中存储的二进制数据与 K4Y000 中存储的 BCD 码完全不同。

当 X002 接通时，将输入位组件 K2X000（X000～X007）中的 BCD 码转换成二进制数送到 D13 中。

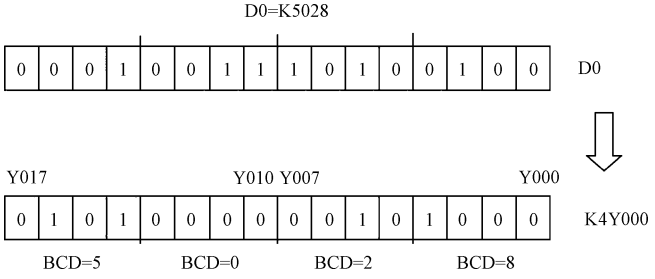


图 3-41　BCD 变换指令的执行过程

3.3.4　算术和逻辑运算指令

算术和逻辑运算指令包括算术运算指令和逻辑运算指令，如表 3-36 所示。

表 3-36　算术和逻辑运算指令

编　号	助 记 符	指 令 名 称	编　号	助 记 符	指 令 名 称
FNC20	ADD	加法	FNC25	DEC	减 1
FNC21	SUB	减法	FNC26	AND	逻辑与
FNC22	MUL	乘法	FNC27	OR	逻辑或
FNC23	DIV	除法	FNC28	XOR	逻辑异或
FNC24	INC	加 1	FNC29	NEG	求补

1．算术运算类指令

1）加法指令 ADD（FNC20）

如表 3-37 所示。加法指令 ADD 将源操作数[S1]的数据内容和源操作数[S2]的数据内容相加，结果送到目标操作数[D]中。

表 3-37　ADD 指令

FNC20 ADD 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S1·][S2·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

两个源数据进行二进制加法后传递到目标处，各数据的最高位是正（0）、负（1）的符号位，这些数据以代数形式进行加法运算，如 5+(−8)＝−3。

ADD 指令有 4 个标志位：M8020 为 0 标志；M8021 为借位标志位；M8022 为进位标志位；M8023 为浮点标志位。如果运算结果为 0，则 0 标志位 M8020 置 1；如果运算结果小于−32 767（16 位运算）或−2 147 483 467（32 位运算），则借位标志位 M8021 置 1；如果运算结果超过 32 767（16 位运算）或 2 147 483 647（32 位运算），则进位标志位 M8022 位置 1。

在 32 位运算中，若已指定字软件低 16 位侧的元件的编号，则将这些软元件编号后的软元件作为高位。为了防止编号重复，建议将软元件指定为偶数编号。

2）减法指令 SUB（FNC21）

如表 3-38 所示。减法指令 SUB 将源操作数[S1]的数据内容减去源操作数[S2]的数据内容，结果送到目标操作数[D]中。

表 3-38　SUB 指令

FNC21 SUB 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S1·][S2·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

两个源数据进行二进制减法后传递到目标处，各数据的最高位是正（0）、负（1）的符号位，这些数据以代数形式进行减法运算，如 5−(−8)＝13。

SUB 指令标志位的动作情况、32 位运算时的软元件的指定方法等与 ADD 指令相同。

3）乘法指令 MUL（FNC22）

如表 3-39 所示。乘法指令 MUL 将源操作数[S1]的数据内容乘以源操作数[S2]的数据内容，结果送到目标操作数[D]中。

表 3-39　MUL 指令

FNC22 MUL 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S1·][S2·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]　* *限16位可用

若[S1]、[S2]为 16 位，则运算结果变成 32 位，存放在[D+1]～[D]中。若[S1]、[S2]为 32 位，则运算结果变成 64 位，存放在[D+3]～[D]中。**但必须注意，目标元件为位元件组合时，只能得到低 32 位的结果，不能得到高 32 位的结果，解决的办法是先把运算目标指定为字元件，再将字元件的内容通过传送指令送到位元件组合中。**

4）除法指令 DIV（FNC23）

如表 3-40 所示。除法指令 DIV 将源操作数[S1]的数据内容除以源操作数[S2]的数据内容，结果送到目标操作数[D]中。

表 3-40　DIV 指令

FNC23 DIV 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S1·][S2·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]　* *限16位可用

若[S1]、[S2]为 16 位，则[S1]指定元件的内容是被除数，[S2]指定元件的内容是除数，[D]所指定的元件存入运算结果的商，[D+1]元件存入余数。

若[S1]、[S2]为 32 位，则被除数是[S1]和[S1+1]元件对的内容，除数是[S2]和[S2+1]元件对的内容，商存入[D1]和[D1+1]元件对中，余数存入[D1+2]和[D1+3]元件对中。

DIV 指令的[S2]不能为 0；否则，运算会出错。目标[D]指定为位元件组合时，对于 32 位运算，将无法得到余数。

实例 21：加法、减法、乘法和除法指令的应用

实例说明

某控制程序中要进行以下算式的运算：38X/27+2。其中“X”代表输入端口 K2X000 送入的二进制数。运算结果需送输出口 K2Y000，X020 为启/停开关。

实例实现

如图 3-42 所示。

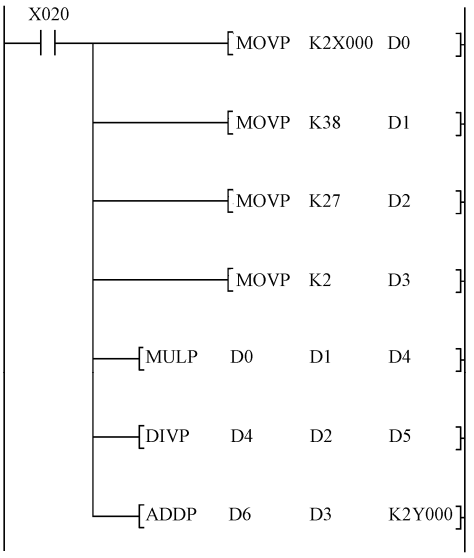


图 3-42　加法、减法、乘法和除法指令的应用

示例的语句表如下：

```
LD      X020
MOVP    K2X000  D0
MOVP    K38     D1
MOVP    K27     D2
MOVP    K2      D3
MULP    D0      D1      D4
DIVP    D4      D2      D6
ADD     D6      D3      K2Y000
```

实例分析

在图 3-42 中，当 X020 由断开转为接通时，先将 K2X000 的内容传送到 D0 中，再将 K38、K27 和 K2 传送到 D1、D2 和 D3 中，最后进行乘法、除法和加法计算。所用传送和算术运算指令均为脉冲执行型指令。

5）加 1 指令 INC（FNC24）和减 1 指令 DEC（FNC25）

如表 3-41 所示。加 1 指令 INC 将指定的目标操作数[D]的内容增加 1；减 1 指令 DEC 将指定的目标操作数[D]的内容减去 1。在连续执行型指令中，每个扫描周期都将执行加 1 或减 1 运算。

表 3-41　INC 和 DEC 指令

FNC24　INC FNC25　DEC 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： K,H \| KnX \| KnY \| KnM \| KnS \| T \| C \| D \| V,Z [D·]

在 INC 运算时，如果数据为 16 位，则+32 767 加 1 变成−32 768，但标志位不置位；同样，32 位运算由+2 147 483 647 加 1 变成−2 147 483 648，标志位也不置位。

在 DEC 运算时，如果数据为 16 位，则−32 768 减 1 变成+32 767，但标志位不置位；同样，32 位运算由−2 147 483 648 减 1 变成+2 147 483 647，标志位也不置位。

实例 22：加 1 和减 1 指令的应用

实例说明

通过本实例来说明加 1 和减 1 指令的应用。

实例实现

如图 3-43 所示。

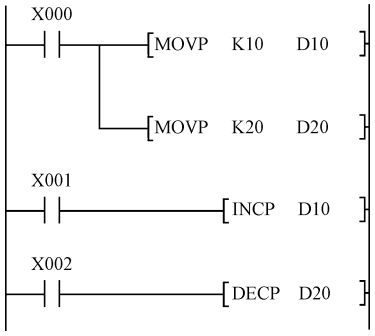


图 3-43　加 1 和减 1 指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
MOVP    K10     D10
MOVP    K20     D20
LD      X001
INCP    D10
LD      X002
DECP    D20
```

实例分析

在图 3-43 中，当 X000 由断开转为接通时，将 K10 和 K20 分别传送到 D10 和 D20 中；每当 X001 由断开转为接通时，D10 中的数值增加 1；每当 X002 由断开转为接通时，D20 中的数值减少 1。

2．逻辑运算类指令

（1）逻辑与指令 AND（FNC26）、逻辑或指令 OR（FNC27）和逻辑异或指令 XOR（FNC28），如表 3-42 所示。

表 3-42　AND 指令

FNC26 AND 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S1·][S2·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·] 16位指令在前加“W”符号 32位指令在前加“D”符号
FNC27 OR 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	
FNC28 XOR 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	

逻辑与指令 AND 将源操作数[S1]和源操作数[S2]中的数，进行二进制按位“与”运算，然后将相“与”结果送到目标操作数[D]中。运算法则是 1∧1=1，1∧0=0，0∧1=0，0∧0=0。

逻辑或指令 OR 将源操作数[S1]和源操作数[S2]中的数，进行二进制按位“或”运算，然后将相“或”结果送到目标操作数[D]中。运算法则是 1∨1=1，1∨0=1，0∨1=1，0∨0=0。

逻辑异或指令 XOR 将源操作数[S1]和源操作数[S2]中的数，进行二进制按位“异或”运算，然后将相“异或”结果送到目标操作数[D]中。运算法则是 1∀1=0，1∀0=1，0∀1=1，0∀0=0。

实例 23：逻辑与、或和异或指令的应用

实例说明

通过本实例来说明逻辑与、或和异或指令的应用。

实例实现

如图 3-44 所示。

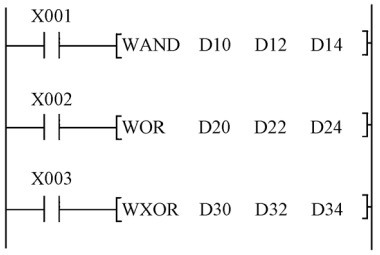


图 3-44　逻辑与、或和异或指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X001
WAND    D10     D12     D14
```

```
LD      X002
WOR     D20     D22     D24
LD      X003
WXOR    D30     D32     D34
```

实例分析

在图 3-45 中，当 X001 接通时，将 D10 和 D12 中的数进行二进制按位“与”运算，然后将相“与”结果送到 D14 中。当 X002 接通时，将 D20 和 D22 中的数进行二进制按位“或”运算，然后将相“或”结果送到 D24 中。当 X003 接通时，将 D30 和 D32 中的数进行二进制按位“异或”运算，然后将相“异或”结果送到 D34 中。

（2）求补指令 NEG（FNC29），如表 3-43 所示。

表 3-43　NEG 指令

FNC29 NEG 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： K,H \| KnX \| KnY \| KnM \| KnS \| T \| C \| D \| V,Z [D·]

求补指令 NEG 将目标操作数[D]的内容中的各位先取反（0→1，1→0），然后再加 1，将其结果送入原先的目标操作数[D]中。

注意：求补指令和求补码是不同的。求补码的规则：“符号位不变，数值位求反加 1”；求补指令是“连同符号位求反加 1”，即求补指令是绝对值不变的变号运算。

3.3.5　循环与移位指令

循环与移位指令是使字数据、位组合的字数据向指定方向循环、移位的指令，如表 3-44 所示。

表 3-44　循环与移位指令

编　号	助 记 符	指 令 名 称	编　号	助 记 符	指 令 名 称
FNC30	ROR	循环右移	FNC35	SFTL	位左移
FNC31	ROL	循环左移	FNC36	WSFR	字右移
FNC32	RCR	带进位循环右移	FNC37	WSFL	字左移
FNC33	RCL	带进位循环左移	FNC38	SFWR	移位写入
FNC34	SFTR	位右移	FNC39	SFRD	移位读出

（1）循环右移指令 ROR（FNC30）和循环左移指令 ROL（FNC31），如表 3-45 所示。

循环右移指令 ROR 将目标操作数[D]中的二进制数按照指令中[n]规定的移动的位数由高位向低位移动，最后移出的那一位将同时进入进位标志位 M8022。

循环左移指令 ROL 将目标操作数[D]中的二进制数按照指令中[n]规定的移动的位数由低位向高位移动，最后移出的那一位将同时进入进位标志位 M8022。ROL 指令的执行类似于 ROR 指令，只是移位方向相反。

表 3-45　ROR 和 ROL 指令

FNC30　ROR FNC31　ROL 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [n]　[D·] [n]≤16（16位指令） [n]≤32（32位指令）

对于连续型执行的指令，在每个扫描周期都会进行循环移位动作，所以一定要注意。对于位元件组合的情况，位元件前的 K 值为 4（16 位）或 8（32 位）才有效，如 K4M0、K8M0。

（2）带进位循环右移指令 RCR（FNC32）和带进位循环左移指令 RCL（FNC33），如表 3-46 所示。

表 3-46　RCR 和 RCL 指令

FNC32　RCR FNC33　RCL 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [n]　[D·] [n]≤16（16位指令） [n]≤32（32位指令）

带进位循环右移指令 RCR 将目标操作数[D]中的二进制数按照指令中[n]规定的移动的位数由高位向低位移动，最后移出的那一位将进入进位标志位 M8022，而 M8022 中的内容则移动到目标操作数[D]中的高位。

带进位循环左移指令 RCL 将目标操作数[D]中的二进制数按照指令中[n]规定的移动的位数由低位向高位移动，最后移出的那一位将进入进位标志位 M8022，而 M8022 中的内容则移动到目标操作数[D]中的低位。

这两条指令的执行基本上与 ROR 和 ROL 相同，只是在执行 RCR 或 RCL 指令时，标志位 M8022 作为循环移位单元中的一位处理。

实例 24：循环移位指令的应用

实例说明

通过本实例来说明循环移位指令的应用。

实例实现

如图 3-45 所示。

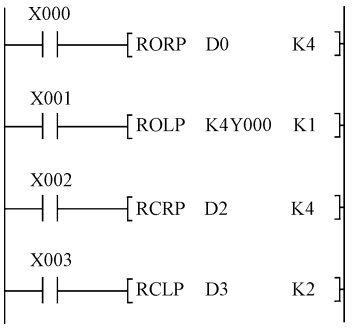


图 3-45　循环移位指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
RORP    D0      K4
LD      X001
```

```
ROLP    K4Y000   K1
LD      X002

RCRP    D2       K4
LD      X003
RCLP    D3       K2
```

实例分析

在图 3-45 中，当 X000 由断开转为接通时，D0 的各位向右循环移动 4 位，最后移出的那一位同时进入进位标志位 M8022。若 D0=1111 1111 0000 0000，则执行完该指令后，D0=0000 1111 1111 0000，M8022=0，如图 3-46（a）所示。

当 X001 由断开转为接通时，输出位组件 K4Y000（Y017～Y000，共 16 位）中的二进制数向左循环移动 1 位，最后移出的那一位同时进入进位标志位 M8022。

当 X002 由断开转为接通时，D2 的各位连同进位标志位 M8022 向右循环移动 4 位，最后移出的那一位进入进位标志位 M8022，而 M8022 中的内容则移动到 D2 中的高位。若 D2=1111 1111 0000 0000，M8022=1，则执行完该指令后，D2=0001 1111 1111 0000，M8022=0，如图 3-46（b）所示。

当 X003 由断开转为接通时，D3 的各位连同进位标志位 M8022 向左循环移动 2 位，最后移出的那一位进入进位标志位 M8022，而 M8022 中的内容则移动到 D3 中的低位。

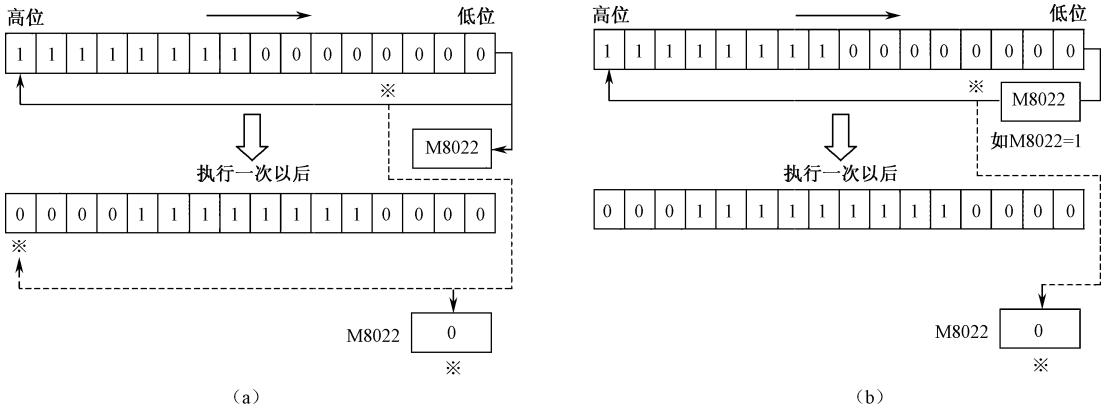


图 3-46　循环移位各位状态的变化

（3）位右移指令 SFTR（FNC34）和位左移指令 SFTL（FNC35），如表 3-47 所示。

表 3-47　SFTR 和 SFTL 指令

FNC34　SFTR FNC35　SFTL 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] X　Y　M　S　K,H [D·] [n1],[n2] [n2]≤[n1]≤1024

位右移指令 SFTR 将长度为[n2]位的源操作数[S]的低位从长度为[n1]位的目标操作数[D]的高位移入，目标操作数[D]向右移[n2]位，源操作数[S]中的数据保持不变。执行位右移指令后，[n2]个源位组件中的数被传送到了目的位组件的高[n2]位中，目的位组件中的低[n2]位数从其低端溢出。

位左移指令 SFTL 将长度为[n2]位的源操作数[S]的高位从长度为[n1]位的目标操作数[D]的低位移入，目标操作数[D]向左移[n2]位，源操作数[S]中的数据保持不变。执行位左移指令后，[n2]个源位组件中的数被传送到了目的位组件的低[n2]位中，目的位组件中的高[n2]位数从其高端溢出。

位右移指令指令（位左移指令）使位组件中的状态成组地向右（向左）移动。

实例 25：位右移和位左移指令的应用

实例说明

通过本实例来说明位右移和位左移指令的应用。

实例实现

如图 3-47 所示。

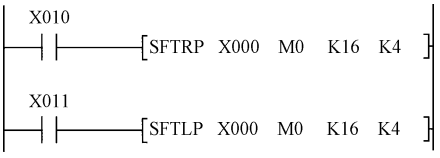


图 3-47　位右移和位左移指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X010
SFTRP   X000   M0    K16   K4
LD      X011
SFTLP   X000   M0    K16   K4
```

实例分析

在图 3-47 中，如果 X010 断开，则不执行 SFTRP 指令，源操作数、目标操作数的数据均保持不变。如果 X010 由断开转为接通，则将执行位组件的右移操作，即源位组件中的 4 位数据 X003～X000 将被传送到目标位组件中的 M15～M12。目标位组件中的 16 位数据 M15～M0 将右移 4 位，M3～M0 4 位数据从目标位组件的低位端溢出。M3～M0 中原来的数据将丢失，但源位组件中 X003～X000 的数据保持不变。位右移指令的执行过程如图 3-48（a）所示。同理，位左移指令的执行过程如图 3-48（b）所示。

（4）字右移指令 WSFR（FNC36）和字左移指令 WSFL（FNC37），如表 3-48 所示。

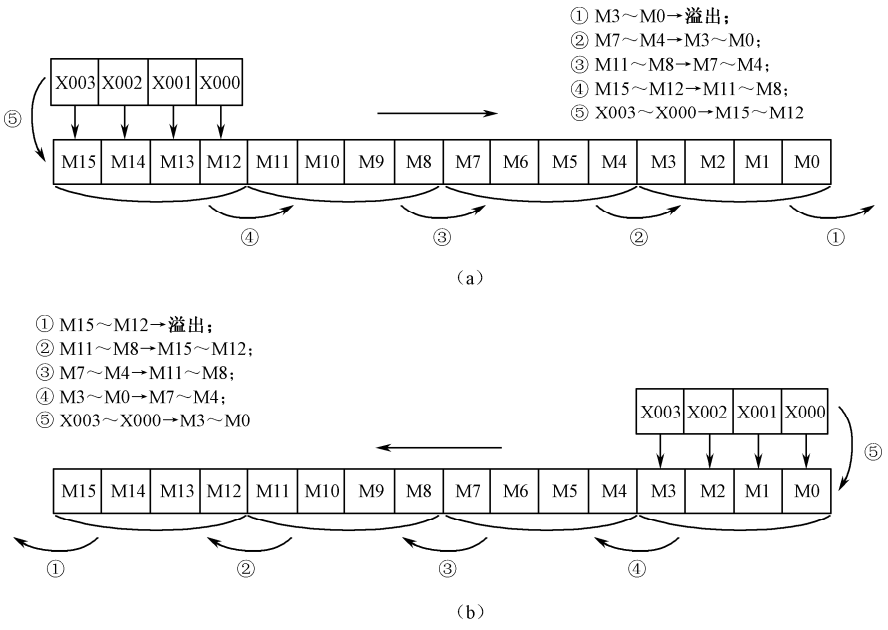


图 3-48　位右移和位左移指令的执行过程

表 3-48　WSFR 和 WSFL 指令

FNC36　WSFR FNC37　WSFL 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·] [n1],[n2]　[n2]≤[n1]≤512

字右移指令 WSFR 和字左移指令 WSFL 以字为单位，其执行过程与位右移指令 SFTR 和位左移指令 SFTL 相似，将[n1]个字右移或左移[n2]个字。

（5）移位写入指令 SFWR（FNC38）和移位读出指令 SFRD（FNC39），如表 3-49 所示。

表 3-49　SFWR 和 SFRD 指令

FNC38 SFWR 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·] [n]　2≤[n]≤512
FNC39 SFRD 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·] [n]　2≤[n]≤512

移位写入指令 SFWR 在条件满足时，将源操作数[S]中的内容依次写入目标操作数[D]。其中，写入的次数存放在首目标中，从首目标的后一个开始，最多可写入[n]−1 次。使用 SFWR 指令，可以进行先进先出控制的数据写入。

移位读出指令 SFRD 在条件满足时，将目标操作数[D]中的内容依次读出到源操作数[S]中。其中，可读出的次数存放在首目标中，从首目标的后一个开始，最多可读出[n]−1 次。使用 SFRD 指令，可以进行先进先出控制的数据读出。

实例 26：移位写入和移位读出指令的应用

实例说明

通过本实例来说明移位写入和移位读出指令的应用。

实例实现

如图 3-49 所示。

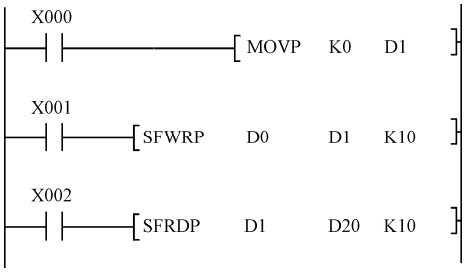


图 3-49　移位写入和移位读出指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
MOVP    K0      D1
LD      X001
SFWRP   D0      D1      K10
LD      X002
SFRDP   D1      D20     K10
```

实例分析

在图 3-49 中，当 X000 由断开转为接通时，将 K0 传送到 D1 中，即对 D1 进行清零。

当 X001 由断开转为接通时，执行 SFWRP 指令，D0 中的数据写入 D2，而 D1 变成指示器，其值为 1（D1 必须先清零）；当 X001 再次由断开转为接通时，D0 中的数据写入 D3，D1 变为 2……以此类推，D0 中的数据依次写入 D2～D10 中，写入的次数存放在 D1 中，当 D1 中的数值达到 9 后不再执行上述操作，同时进位标志位 M8022 置 1。SFWRP 指令的执行过程如图 3-50（a）所示。

当 X002 由断开转为接通时，执行 SFRDP 指令，D2 中的数据读出送到 D20 中，同时指

示器 D1 的值减 1，D3～D10 的数据向低位移一个字；当 X002 再次由断开转为接通时，数据再次从 D2 读出送到 D20 中，同时指示器 D1 的值减 1，D4～D10 的数据向低位移一个字，以此类推，当 D1 中的数值达到 0 后不再执行上述操作，同时零标志位 M8020 置 1。SFRDP 指令的执行过程如图 3-50（b）所示。

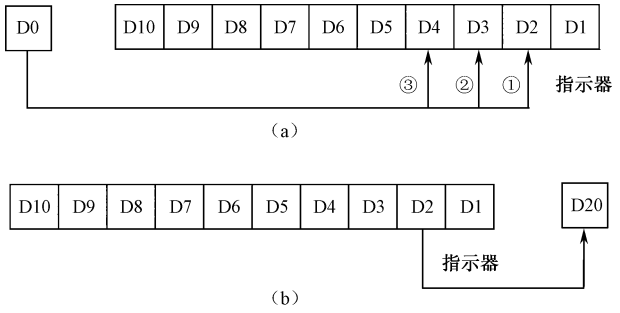


图 3-50　移位写入和移位读出指令的执行过程

3.3.6　数据处理指令

数据处理指令是可以进行复杂的数据处理和实现特殊用途的指令，如表 3-50 所示。

表 3-50　数据处理指令

编　号	助 记 符	指 令 名 称	编　号	助 记 符	指 令 名 称
FNC40	ZRST	区间复位	FNC45	MEAN	平均值
FNC41	DECO	译码	FNC46	ANS	信号报警器置位
FNC42	ENCO	编码	FNC47	ANR	信号报警器复位
FNC43	SUM	置 1 位数总和	FNC48	SQR	平方根
FNC44	BON	置 1 位判断	FNC49	FLT	浮点数转换

（1）区间复位指令 ZRST（FNC40），如表 3-51 所示。

表 3-51　ZRST 指令

FNC40 ZRST 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [D1·] [D2·] K,H KnX KnY KnM KnS T C D V,Z X Y M S [D1·] [D2·]

区间复位指令 ZRST 可将目标操作数[D1]～[D2]指定的元件号范围内的同类元件成批复位。复位的含义一般是清零。

在 ZRST 指令中，[D1]和[D2]必须是同一种类的元件，而且[D1]的编号小于或等于[D2]的编号。当[D1]的编号大于[D2]的编号时，只有[D1]指定的元件复位。

ZRST 指令是处理 16 位的指令，但[D1]、[D2]也可指定为 32 位的高速计数器。但是，

[D1]和[D2]不能一个指定为 16 位，另一个指定为 32 位。

若要复位单个元件，可以使用 RST 指令。

实例 27：区间复位指令的应用

实例说明

通过本实例来说明区间复位指令的应用。

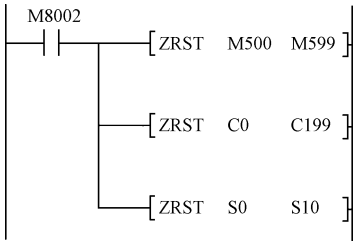


图 3-51　区间复位指令的应用

实例实现

如图 3-51 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD      M8002
ZRST    M500    M599
ZRST    C0      C199
ZRST    S0      S10
```

实例分析

在图 3-51 中，当 PLC 运行时，M8002 初始脉冲将执行 ZRST 指令，该指令复位清除 M500～M599、C0～C199 和 S0～S10。

（2）译码指令 DECO（FNC41），如表 3-52 所示。

表 3-52　DECO 指令

FNC41 DECO 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] X Y M S [S·] K,H KnX KnY KnM KnS [S·] T C D V,Z [D·] Y M S [n] [D·] KnY KnM KnS

译码指令 DECO 根据[n]位输入的状态对 2^n 个输出进行译码，功能如同将二进制数转换为十进制数。

如果目标操作数[D]为位元件，并且以[S]为首地址的[n]位连续的位元件所表示的十进制数为[n]，则 DECO 指令把以[D]为首地址目标元件的第[n]位（不含目标元件位本身）置位，其他位清零。此时，[n]≤8。[n]=0 时不处理，[n]=0～8 以外的数会出现运算错误。DECO 指令会占用大量的位元件（[n]=8 时占用 256 点），在使用时注意不要重复使用这些元件。

如果目标操作数[D]为字元件，并且以[S]所指定字元件的低[n]位所表示的十进制数为[n]，则 DECO 指令把以[D]所指定字元件的第[n]位（不含最低位）置位，其他位清零。此时，[n]≤4。[n]=0 时不处理，[n]=0～4 以外的数会出现运算错误。

（3）编码指令 ENCO（FNC42），如表 3-53 所示。

表 3-53　ENCO 指令

FNC42 ENCO 16 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·]：X　Y　M　S [S·]：K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [n] [D·]

编码指令 ENCO 根据[n]位输入的状态对 2^n 个输出进行编码，功能如同将十进制数转换为二进制数。

如果源操作数[S]为位元件，在以[S]为首地址、长度为 2^n 位连续的位元件中，最高位为“1”的位置编号被编码，然后存放到目标操作数[D]所指定的元件中，[D]中的数值的范围由[n]确定。若源操作数的第一个（第 0 位）位元件为“1”，则[D]中全部存放“0”；当源操作数中无“1”时，出现运算错误。此时，[n]≤8。[n]=0 时不处理，[n]=1～8 以外的数会出现运算错误。

如果源操作数[S]为字元件，在其可读长度为 2^n 位中，最高置“1”的位被存放到目标操作数[D]所指定的元件中，[D]中的数值的范围由[n]确定。当源操作数的第 0 位为“1”，则[D]中全部存放“0”；当源操作数中无“1”时，出现运算错误。此时，[n]≤4。[n]=0 时不处理，[n]=1～4 以外的数会出现运算错误。

实例 28：译码和编码指令的应用

实例说明

通过本实例来说明译码和编码指令的应用。

实例实现

如图 3-52 所示。

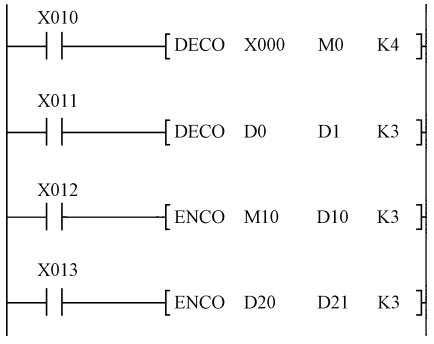


图 3-52　译码和编码指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X010
```

```
DECO    X000    M0      K4
LD      X011
DECO    D0      D1      K3
LD      X012
ENCO    M10     D10     K3
LD      X013
ENCO    D20     D21     K3
```

实例分析

在图 3-52 中，指令“DECO　X000　M0　K4”的目标操作数为位元件 M0。当 X010 接通时，将 X000 开始的 K4 个元件（X003～X000）译码，然后指定以 M0 开始的 16 位（M15～M0）中对应的辅助继电器为“1”。若 X003～X000 的状态为 1010，则其十进制数值应为 10，DECO 指令执行后，会将 M10 位置位，其余位清零。

指令“DECO　D0　D1　K3”的目标操作数为字元件 D1。当 X011 接通时，将 D0 的低位算起的 3 位进行译码，然后将 D1 的对应位置位，当[n]<3 时，D1 的高 8 位全部为零。若 D0 的状态为 0011 0101 0011 0011，即其低 3 位为 011，对应的十进制数值应为 3，DECO 指令执行后，会将 D1 的第 4 位置位，其余位清零，即 D1 的状态变为 0000 0000 0000 1000。

指令“ENCO　M10　D10　K3”的源操作数为位元件 M10。当 X012 接通时，对 M10 的低 23 位位元件（M17～M10）进行编码，然后在 D10 的对应位显示。若 M17～M10 的状态为 0000 1000，在其最高位位置为“1”的位置编号是“3”（最低位的位置编号是“0”），对应的二进制编码是 011，故应将 D10 的状态置为 0000 0000 0000 0011。

指令“ENCO　D20　D21　K3”的源操作数为字元件 D20。当 X013 接通时，对 D20 的低 23 位进行编码，然后在 D21 的对应位显示。若 D20 的状态为 0101 0101 0000 1011，其低 23 位状态是 0000 1011，最高位位置为“1”的位置编号是“3”，对应的二进制编码是 011，故应将 D21 的状态置为 0000 0000 0000 0011。

（4）置 1 位数总和指令 SUM（FNC43），如表 3-54 所示。

表 3-54　SUN 指令

FNC43 SUM 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

置 1 位数总和指令 SUM 统计源操作数[S]中置 1 的位的个数，并存放在目标操作数[D]中。

如果源操作数[S]中没有为 1 的位，则零标志位 M8020 动作。

对于 32 位操作，将[S]指定元件的 32 位数据中 1 的个数存入[D]所指定的元件中，[D]的后一元件的各位均为 0。

（5）置 1 位判断指令 BON（FNC44），如表 3-55 所示。

表 3-55　BON 指令

FNC44 BON 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [n] X　Y　M　S [D·] [n]=0～15（16位指令） [n]=0～31（32位指令）

置 1 位判断指令 BON 对源操作数[S]中的指定位[n]是否为 1 进行检测，并将检测结果存放在目标操作数[D]中。

实例 29：置 1 位数总和和置 1 位判断指令的应用

实例说明

通过本实例来说明置 1 位数总和和置 1 位判断指令的应用。

实例实现

如图 3-53 所示。

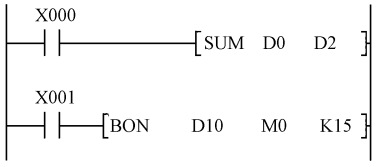


图 3-53　置 1 位数总和和置 1 位判断指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
SUM     D0      D2
LD      X001
BON     D10     M0      K15
```

实例分析

在图 3-53 中，当 X000 接通时，将 D0 中 1 的个数存入 D2 中，若 D0 中没有为 1 的位，则零标志位 M8020 动作。

当 X001 接通时，BON 指令对由 K4 指定的源操作数 D10 的第 15 位是否为 1 进行检测，并将结果存入 M0 中。即当检测结果为 1 时，则目标操作数 M0=1；否则，M0=0。

（6）信号报警器置位指令 ANS（FNC46）和信号报警器复位指令 ANR（FNC47），如

表 3-56 所示。

信号报警器置位指令 ANS 用来驱动报警器。

信号报警器复位指令 ANR 使被驱动的报警器复位。

表 3-56　AVS 和 ANR 指令

FNC46 ANS 16 位指令 连续执行	操作数： [S·] T0～T199 K,H \| KnX \| KnY \| KnM \| KnS \| T \| C \| D \| V,Z [m] [m]=1～32 767（单位100ms） X \| Y \| M \| S [D·] S900～S999
FNC47 ANR 16 位指令 脉冲/连续执行	无操作数

实例 30：信号报警器置位和信号报警器复位指令的应用

实例说明

通过本实例来说明信号报警器置位和信号报警器复位指令的应用。

实例实现

如图 3-54 所示。

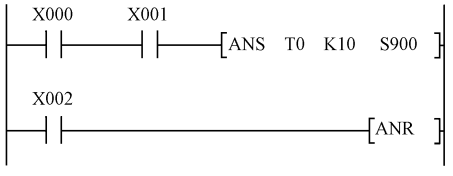


图 3-54　信号报警器置位和信号报警器复位指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
AND     X001
ANS     T0      K10     S900
LD      X002
ANR
```

实例分析

在图 3-54 中，如果 X000 和 X001 同时接通 1s 以上，S900 被置位，以后即使 X000 或

X001 断开，S900 仍保持动作状态。根据报警器的工作原理，S900～S999 中的任意一个状态为 ON，则 M8048 就动作，可以用 M8048 驱动相应的报警输出。

当 X002 接通时，S900～S999 之间被置“1”的报警器复位。如果置“1”的 S900～S999 之间的元件超过一个，则元件号中最低的报警器复位，若将 X002 再次接通，则下一报警器复位。

（7）平均值指令 MEAN（FNC45），如表 3-57 所示。

表 3-57　MEAN 指令

FNC45 MEAN 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [n]　[D·] [n]=1～64

平均值指令 MEAN 将[n]个源操作数[S]的平均值送到指定的目标操作数[D]中，余数舍去。如果[n]值超出 1～64 的范围，将会出错。

（8）平方根指令 SQR（FNC48），如表 3-58 所示。

表 3-58　SQR 指令

FNC48 SQR 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·]　[S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

平方根指令 SQR 将源操作数[S]的平方根值送到指定的目标操作数[D]中，结果只取整数。

若[S]中为负数，则出错标志位 M8067 工作，指令不能执行。舍去小数时，借位标志位 M8021 会动作。运算结果为 0，则零标志位 M8020 会动作。

实例 31：平均值和平方根指令的应用

实例说明

通过本实例来说明平均值和平方根指令的应用。

实例实现

如图 3-55 所示。

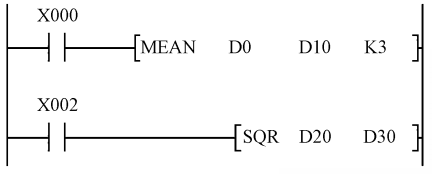


图 3-55　平均值和平方根指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
MEAN    D0      D10     K3
```

```
LD      X002
SQR     D20     D30
```

实例分析

在图 3-55 中，当 X000 接通时，计算 D0、D1 和 D2 中的数值的平均值，然后送到 D10 中。当 X002 接通时，将存放在 D20 中的正数进行平方根运算，结果存放入 D30 中（结果只取整数）。

（9）浮点数转换指令 FLT（FNC49），如表 3-59 所示。

表 3-59　FLT 指令

FNC49 FLT 16 位/32 位指令 脉冲/连续执行	操作数： [S·] K,H　KnX　KnY　KnM　KnS　T　C　D　V,Z [D·]

浮点数转换指令 FLT 将源操作数[S]中的二进制整数转换成二进制浮点数并送到指定的目标操作数[D]中。

实例 32：浮点数转换指令的应用

实例说明

通过本实例来说明浮点数转换指令的应用。

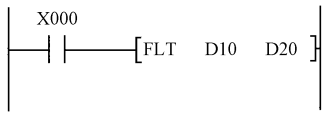


图 3-56　浮点数转换指令的应用

实例实现

如图 3-56 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
FLT     D10     D20
```

实例分析

在图 3-56 中，当 X000 接通时，将 D10 中的数据转换成浮点数并存入 D20 中。

3.3.7　高速处理指令

1．输入/输出刷新指令（REF）

输入/输出刷新指令 REF 是连续执行型指令，其目标操作数[D]用来指定输入或输出端子（只能是最低位为 0 的 X 或 Y 元件），刷新点数应为 8 的倍数。

FX 系列 PLC 采用批处理的刷新方式，即输入信号在程序处理之前成批写入到输入映像

寄存器中，而输出数据在执行 END 指令之后，由输出映像寄存器通过输出锁存器送到输出端子。REF 指令用于某段程序处理时写入最新信息，或者将操作结果立即输出，输出刷新中的接点将在输出继电器应答时间后动作。

在多个输入中，只刷新 X010～X017 的 8 点。如果在该指令执行前约 10ms 置 X010～X017 的状态为 ON 时，执行该指令时输入映像寄存器的 X010～X017 的状态为 ON。

在多个输出中，Y000～Y007、Y010～Y017、Y020～Y027 的 24 点被刷新。Y000～Y027 中的任何一点状态为 ON 时，执行该指令时，输出锁存寄存器的该输出状态也为 ON。

实例 33：输入/输出刷新指令的应用

实例说明

通过本实例来说明输入/输出刷新指令的应用。

实例实现

如图 3-57 所示。

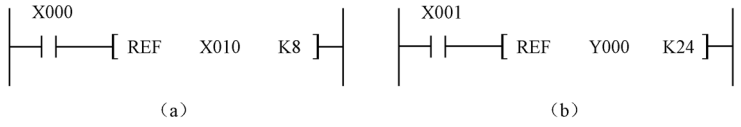


图 3-57　输入/输出刷新指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
（a）LD    X000                （b）LD    X001
     REF   X010  K8                  REF   Y000  K24
```

实例分析

（1）输入刷新（图 3-57（a））：当 X000 接通时，X010 的输入信号按照立刻输入的办法处理，在执行输入信号指令前约 10ms（输入滤波响应滞后时间），自动把 X010 的输入信号输入到输入映像区，然后再执行相关的指令运算。

（2）输出刷新（图 3-57（b））：当 X001 接通时，Y000 的输出信号按照立刻输出的办法处理，把输出信号状态直接输送到输出锁存器，输出接点将在输出继电器响应滞后时间约 10ms 接通，如果是晶体管输出型，输出接点将滞后约 0.2ms 接通。

2．刷新和调整滤波时间常数调整指令（REFF）

刷新和调整滤波时间常数调整指令 REFF 用于 FX 系列 PLC 中 X000～X017 输入口的输入滤波器 D8020 的滤波时间调整。REFF 指令可调节滤波时间的范围为 0～60ms（实际上由于输入端有 RL 滤波，因此最小滤波时间为 50μs）。使用 REFF 指令时应注意如下事项。

（1）REFF 为 16 位运算指令。

（2）X000～X017 的输入滤波器的初值设定为 10ms，可用 REFF 指令改变滤波初值的设定时间，也可以通过 MOV 指令改写 D8020 滤波时间。

（3）当 X000～X017 用做高速计数输入，或者用于速度检测信号，或者用做中断输入时，输入滤波器的时间常数自动设置为 50μs。

实例 34：刷新和调整滤波时间常数调整指令的应用

实例说明

通过本实例来说明刷新和调整滤波时间常数调整指令的使用。

实例实现

如图 3-58 所示。

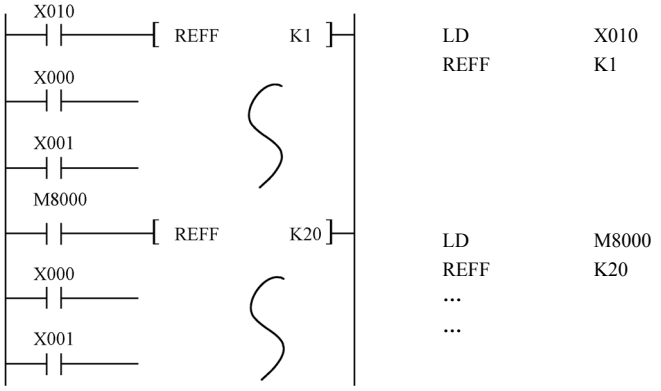


图 3-58　刷新和调整滤波时间常数调整指令的应用

实例分析

当 X010 的状态为 ON 时，输入滤波器的滤波时间为 1ms，刷新输入 X000～X017 的映像寄存器。M8000 之后到 END 或 FEND，指令滤波时间为 20ms。

3．高速计数器指令

高速计数器（C235～C255）以中断方式对外部输入的高速脉冲计数。FX_{2N} 系列 PLC 高速计数器共有三条专用指令：高速计数器置位指令（HSCS）、高速计数器复位指令（HSCR）和高速计数器区间比较指令（HSZ），此三条指令均为 32 位指令。

（1）高速计数器置位指令 HSCS 的编号为 FNC53。它应用于高速计数器的置位，使计数器的当前值达到预置值时，计数器的输出触点立即动作。它采用了中断方式使置位和输出立即执行，与扫描周期无关。

（2）高速计速器复位指令 HSCR 的编号为 FNC54。如图 3-59 所示，C254 的当前值由 199 变为 200 或由 201 变为 200 时，则用中断的方式使 Y010 立即复位。如果当前值被强制为 200，则 Y020 的状态不会为 OFF。

使用 HSCS 和 HSCR 时应注意如下事项。

- **源操作数[S1]可取所有数据类型，[S2]为 C235～C255，目标操作数[D]可取 Y、M 和 S。**
- **只有 32 位运算。**

（3）高速计速器区间比较指令 HSZ 的编号为 FNC55，它为 32 位运算指令，有 3 种工作模式：标准模式、多段比较模式和频率控制模式。

使用高速计速器区间比较指令时应注意如下事项。

- **操作数[S1]、[S2]可取所有数据类型，[S]为 C235～C255，目标操作数[D]可取 Y、M、S，为三个连续的元件。**
- **HSZ 为 32 位运算指令。**

实例 35：高速计数器置位、复位和区间比较指令的应用

实例说明

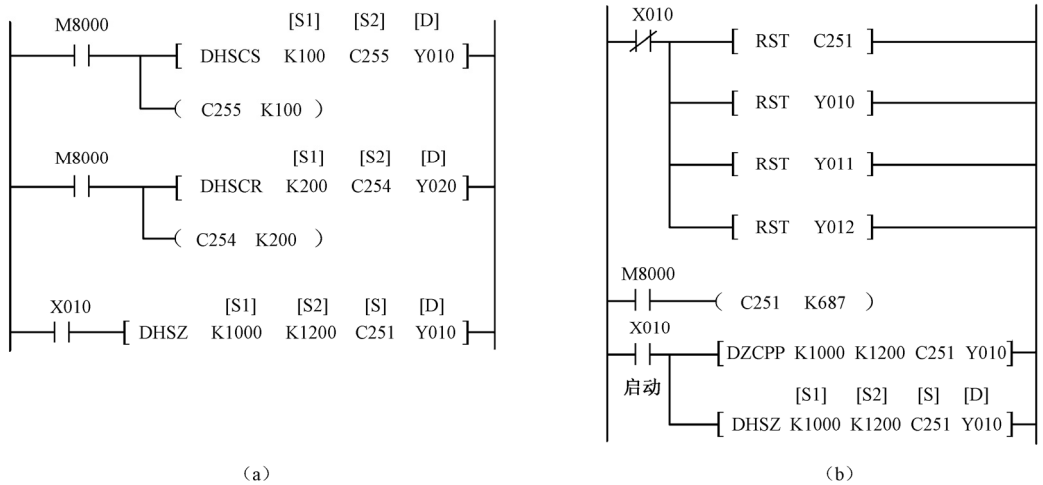
通过本实例来说明高速计数器置位、复位和区间比较指令的应用。

实例实现

如图 3-59 所示。

```
LD      M8000
DHSCS   K100    C255    Y010
OUT     C255    K100
LD      M8000
DHSCR   K200    C254    Y020
LD      X010
DHSZ    K1000   K1200   C251   Y010
```

```
LDI     X010
RST     C251
RST     Y010
RST     Y011
RST     Y012
LD      M8000
OUT     C251    K687
LD      X010
DZCPP   K1000   K1200   C251   Y010
DHSZ    K1000   K1200   C251   Y010
```



（a）　　（b）

图 3-59　高速计数器置位、复位和区间比较指令的应用

实例分析

如图 3-59（a）所示，[S1]为设定值（100），当高速计数器 C255 的当前值由计数器脉冲

输入等于设定值（100）时，Y010 将立即置 1。

如果当前值由 MOV 指令强制改变为 100，则 Y010 的状态不会为 ON。DHSCS 指令的目标操作数[D]可以指定为 I0$0（$=1～6）。在[S2]指定的高速计数器的当前值等于[S1]指定的设定值时，执行[D]指定的标号为 I0$0 的中断程序。

如图 3-59（b）所示，目标操作数为 Y010、Y011 和 Y012。图中，X010 的状态为 OFF 时，C251 和 Y010～Y012 被复位，当 X010 的状态为 ON 且 C251 的当前值<K1000 时，Y010 的状态为 ON；K1000≤C251 的当前值≤K1200 时，Y11 的状态为 ON；C251 的当前值>K1200 时，Y012 的状态为 ON。计数、比较和外部输出均以中断方式进行，HSZ 指令仅在脉冲输入时才能执行。所以，其最初的驱动可以用区间比较指令 ZCP 来控制。Y010、Y011 和 Y012 可以用来控制高速、低速和制动动作。

4．速度检测指令（SPD）

速度检测指令 SPD 的编号为 FNC56。它的功能是用来检测给定时间内从编码器输入的脉冲个数，并计算出速度。SPD 的源操作数[S1]为 X000～X005；[S2]用来指定计数时间（以 ms 为单位）；[D]用来指定计数结果的存放处，占用 3 个元件，可以取 T、C、D、V 和 Z。

如图 3-60 所示，用 D1 对 X000 输入的脉冲上升沿计数，100ms 后将计数结果送到 D0，D1 中的当前值复位，重新开始对脉冲计数。计数结束后，D2 用来测量剩余时间。则转速 n 可用下式计算：

$$n = 60 \times (\mathrm{D0}) \times 10^3 / Nt(\mathrm{r/min})$$

式中，n 为转速；（D0）为 D0 中的数；t 为[S2]指定的计数时间（ms）；N 为每转的脉冲数。

使用脉冲输出指令时应注意如下事项。

（1）[S1]、[S2]可取所有的数据类型。

（2）该指令可进行 16 位和 32 位操作。

（3）本指令在程序中只能使用一次。

（4）SPD 指令中用到的输入不能用于其他高速处理操作。

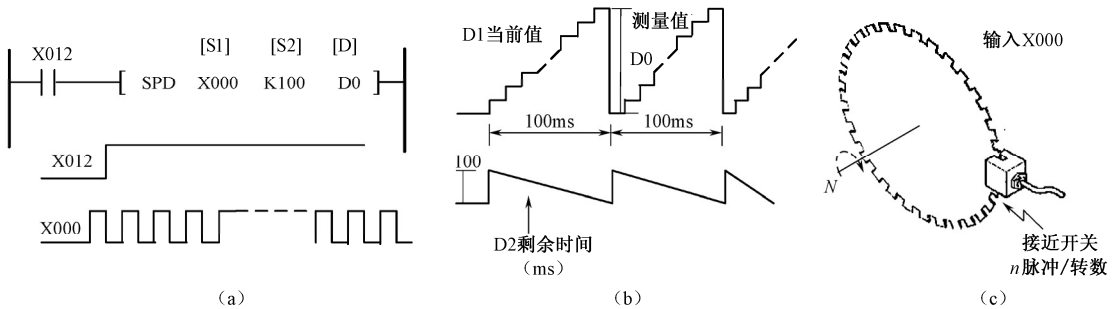


图 3-60　速度检测指令的应用

实例 36：速度检测指令的应用

实例说明

通过本实例来说明速度检测指令的应用。

实例实现

如图 3-60（a）所示。

示例对应的指令：

```
LD    X012
SPD   X000   K100   D0
```

实例分析

X012 接通，[S2]的时间数值被传送到倒计时器 D2，计数器 D1 计数 X000 的输出脉冲，直到 D2 的数值为 0，D1 的数值传送到 D0 中，同时 D1 自动复位；如果 X012 保持接通，[S2]的时间数值又传送到倒计时器 D2 中，计数器 D1 又开始计数 X000 的输出脉冲，一直到 D2 的数值为 0，D1 的数值传送到 D0 中，同时 D1 自动复位……这样周而复始地动作，直到 X012 断开。

5．脉宽调制指令（PWM）

脉宽调制指令 PWM 的编号为 FNC58。它的功能是用来产生指定脉冲宽度和周期的脉冲串。其源操作数和目标操作数的类型与 PLSY 指令相同，只能用于晶体管输出型 PLC 的 Y000 和 Y001，该指令只能使用一次。

在 PWM 指令中，[S1] 用来指定脉冲的宽度（t=1～32 767ms）；[S2]用来指定脉冲的周期（T=1～32 767ms）；[D]用来指定输出脉冲的元件号（Y000 或 Y001），输出的 ON/OFF 状态由中断方式控制。如图 3-61（a）所示，D10 的值由 0～50 变化时，Y000 输出的脉冲占空比从 0～1 变化；X011 变为 OFF 时，Y001 也为 OFF。

使用脉宽调制指令时应注意如下事项。

（1）操作数的类型与 PLSY 相同，该指令只有 16 位操作。

（2）[S1]应小于[S2]。

6．可调速脉冲输出指令（PLSR）

可调速脉冲输出指令 PLSR 的编号为 FNC59。该指令可以对输出脉冲进行加速，也可进行减速调整。源操作数和目标操作数的类型为 K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z 和 Y000、Y001，可进行 16 位操作，也可进行 32 位操作。该指令只能用一次。

[S1]用来指定最高频率（10～20kHz），为 10 的整数倍。

[S2]用来指定总的输出脉冲，16 位指令的脉冲数范围为 110～32 767，32 位指令的脉冲数范围为 110～2 147 483 647，设定值不到 110 时，脉冲不能正常输出。

[S3]用来设定加减速时间（0～5000ms），该值应大于 PLC 扫描周期最大值（D8012）的 10 倍，且应满足

$$\frac{9000\times 5}{[S1]} \leqslant [S3] \leqslant \frac{[S2]\times 818}{[S1]}$$

加减速的变速次数固定为 10 次。

[D]用来指定脉冲输出的元件号（Y000 或 Y001）。如图 3-61（b）所示，当 X010 的状态为 OFF 时，输出中断；状态变为 ON 时，从初始值开始输出。输出频率范围为 2～

20kHz，最高速度、加减速时的变速速度超过此范围时，将自动调到允许值内。

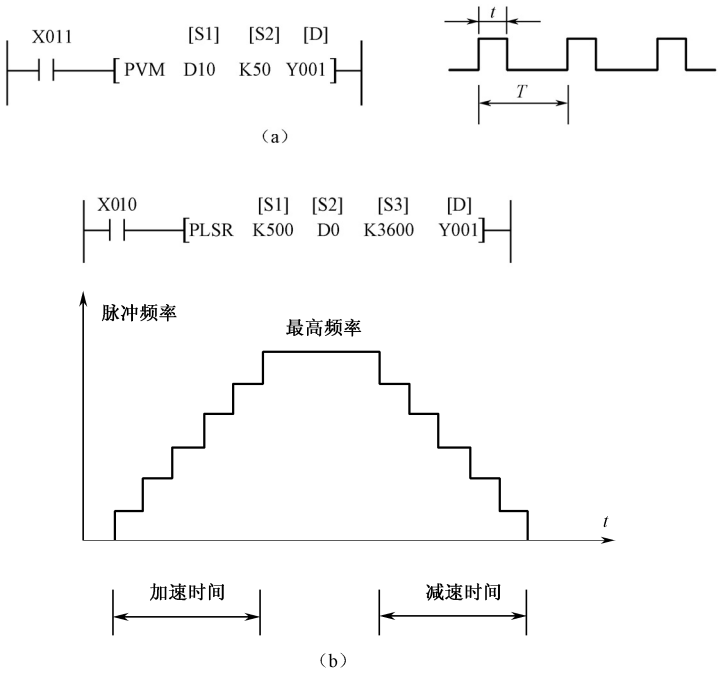


图 3-61　脉宽调制指令和可调速脉冲输出指令的应用

实例 37：脉宽调制指令和可调速脉冲输出指令的应用

实例说明

通过本实例来说明脉宽调制指令和可调速脉冲输出指令的应用。

实例实现

如图 3-61 所示。

示例对应的语句表如下：

```
（a）  LD      011
       PWM     D10     K50     Y001

（b）  LD      X010
       PLSR    K500    D0      K3600   Y001
```

实例分析

对于脉宽调制指令的使用，如图 3-61（a）所示，当 X011 接通时，Y001 输出 D10 指定的脉冲宽度、K50 指定的脉冲周期的脉冲。在指令执行中，允许改变 D10、K50 的值，而且指令立刻会采取新的参数输出脉冲。**注意：PWM 指令在程序中只能使用一次，当出现**

[S1]>[S2]时，就会出现错误。

对于可调速脉冲输出指令的使用，如图 3-61（b）所示，当 X010 接通时，Y001 输出 50Hz 的脉冲，在加速和减速的 3.6s 时间里，Y001 输出的脉冲频率均按 10 级增加或减少，加速和减速过程需要相同的脉冲数 *n*，在频率达到 500Hz 时，以该频率输出 *m* 个脉冲。（*n*+*m*）等于 D0 中的值。

3.3.8 方便指令

FX 系列共有 10 条方便指令：初始化状态指令 IST（FNC60）、数据搜索指令 SER（FNC61）、绝对值式凸轮顺控指令 ABSD（FNC62）、增量式凸轮顺控指令 INCD（FNC63）、示教定时器指令 TIMR（FNC64）、特殊定时器指令 STMR（FNC65）、交替输出指令 ALT（FNC66）、斜坡信号指令 RAMP（FNC67）、旋转工作台控制指令 ROTC（FNC68）和数据排序指令 SORT（FNC69）。以下仅对其中部分指令加以介绍。

1．初始化状态指令（IST）与数据搜索指令（SER）

初始化状态指令 IST（FNC60）与 STL（步进梯形）指令一起使用，用于自动设置多种工作方式的系统的顺序控制编程。

数据搜索指令 SER（FNC61）用于在数据表中查找指定数据，源操作数[S1]可以取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C 和 D，[S2]可以选所有的数据格式，目标操作数可以取 KnY、KnM、KnS、T、C 和 D。[S1]指定表的首地址，[S2]指定检索值，[D]用来存放搜索结果，[n]用来指定表的长度，即搜索的项目数，16 位指令中[n]取 256，32 位指令[n]取 128。

实例 38：初始化状态指令与数据搜索指令的应用

实例说明

通过本实例来说明初始化状态指令与数据搜索指令的应用。

实例实现

如图 3-62 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD    M8000
IST   X020    S20    S40

LD    X001
SER   D130    D24    D35    K9
```

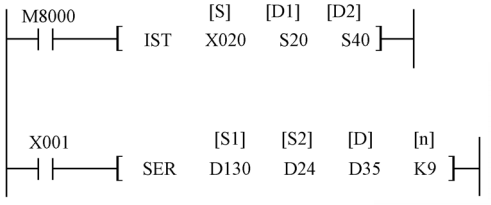


图 3-62　初始化状态指令与数据搜索指令的应用

实例分析

当 M8000 接通时，系统自动分配一个操作控制面板和一系列特殊中间继电器作为状态转移和监控用途。图 3-62 中 X001 的状态为 ON 时，将 D130～D138 中的每一个值与 D24 的内容比较，结果存放在 D35～D39 数据寄存器中。

D24 的值为 100，表 3-60 与表 3-61 给出了一个搜索实例。

注意：IST 指令在编程时只能使用一次。

表 3-60　被搜索数据

序　　号	0	1	2	3	4	5	6	7	8
元件号	D130	D131	D132	D133	D134	D135	D136	D137	D138
数据	100	111	100	98	123	66	100	95	210
搜索结果	符合		符合			最小	符合		最大

表 3-61　搜索结果

元　件　号	搜　索　内　容	序　　号
D35	符合数字个数	3
D36	第一个符合值在表中的序号	0
D37	最后一个符合值在表中的序号	6
D38	表中最小的数的序号	5
D39	表中最大的数的序号	8

2．凸轮顺控指令

凸轮顺控指令有绝对值式凸轮顺控指令 ABSD（FNC62）和增量式凸轮顺控指令 INCD（FNC63）两条。

（1）绝对值式凸轮顺控指令（ABSD）：用于产生一组对应于计数值在 3600 范围内变化的输出波形，最多可控制 64 个输出变量（Y、M 和 S）的状态（ON/OFF），输出点的个数由[n]决定，1≤[n]≤64。

实例 39：绝对值式凸轮顺控指令的应用

实例说明

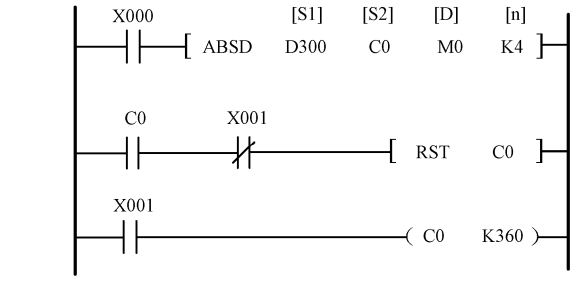
通过本实例来说明绝对值式凸轮顺控指令的应用。

实例实现

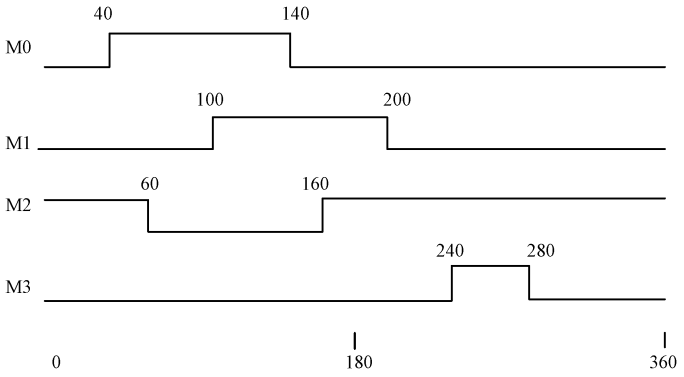
如图 3-63 所示。

示例对应的语句表如下：

```
LD    X000
ABSD  D300  C0  M0  K4
LD    C0
ANI   X001
RST   C0
LD    X001
OUT   C0    K360
```



（a）



（b）

图 3-63　绝对值式凸轮顺控指令的应用

实例分析

如图 3-63（a）所示，当 X000 接通时，M0～M3 将得到如图 3-63（b）所示的波形，通过改变 D300～D307 的数据可改变波形。若 X000 断开，则各输出点状态不变。图 3-63 中[n]为 4，表明[D]由 M0～M3 共 4 点输出。预先通过 MOV 指令将对应的数据写入 D300～D307 中，开通点数据写入偶数元件，关断点数据放入奇数元件，如表 3-62 所示。**这一指令只能使用一次。**

表 3-62　旋转周期 M0～M3 状态

开　通　点	关　断　点	输　　出
D300=40	D301=140	M0
D302=100	D303=200	M1
D304=160	D305=60	M2
D306=240	D307=280	M3

（2）增量式凸轮顺控指令 INCD 根据计数器对位置脉冲的计数值，产生一组对应于计数值变化的输出波形。**该指令只能用一次。**

凸轮顺控指令源操作数[S1]可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C 和 D，[S2]为 C，目标操作数[D]可取 Y、M 和 S，它是 16 位操作指令。

实例 40：增量式凸轮控制指令的应用

实例说明

通过本实例来说明增量式凸轮控制指令的应用。

实例实现

如图 3-64 所示。

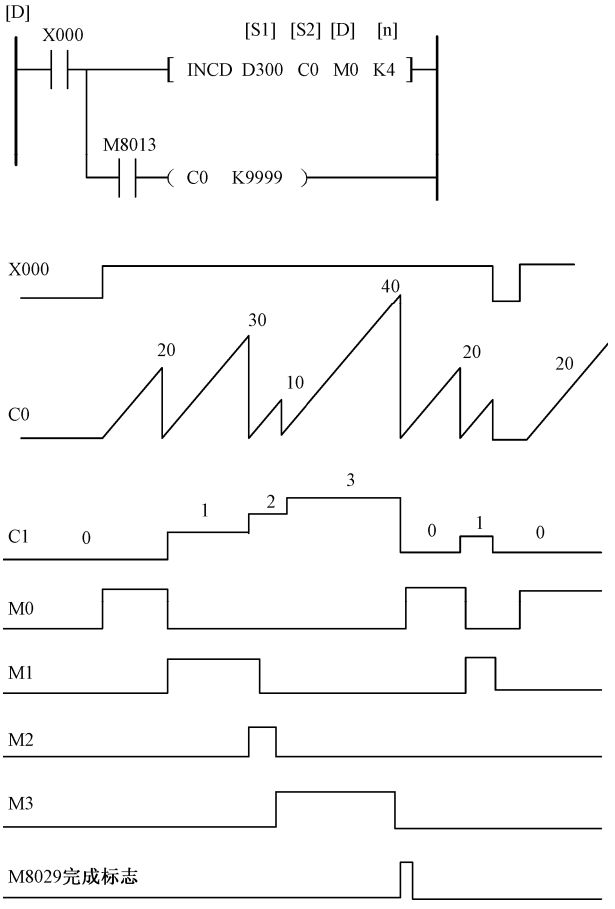


图 3-64　增量式凸轮控制指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
INCD    D300    C0    M0    K4
AND     M8013
OUT     C0      K9999
```

实例分析

当 X000 接通后，当计数器 C0 的当前值依次达到 D300～D303 的设定值时将自动复位（图中波形是 D300～D303 分别为 20、30、10 和 40 时的输出）。C1 用来计复位的次数，M0～M3 根据 C1 的值依次动作。由[n]指定的最后一段完成后，标志 M8029 置 1，以后周期性重复。若 X000 断开，则 C0、C1 均复位，同时 M0～M3 的状态变为 OFF，当 X000 再接通后重新开始工作。

[n]=4，说明有 4 个输出，分别为 M0～M3，它们的 ON/OFF 状态受凸轮提供的脉冲个数控制。使 M0～M3 为 ON 状态的脉冲个数分别存放在 D300～D303 的 4 个数据寄存器中（用 MOV 指令写入）。

3．定时器指令

定时器指令有示教定时器指令 TTMR（FNC64）和特殊定时器指令 STMR（FNC65）两条。

（1）示教定时器指令 TTMR（FNC64）。使用示教定时器指令 TTMR，可用一个按钮来调整定时器的设定时间。示教定时器指令的目标操作数[D]，[n]=0～2。

实例 41：示教定时器指令的应用

实例说明

通过本实例来说明示教定时器指令的应用。

实例实现

如图 3-65 所示。

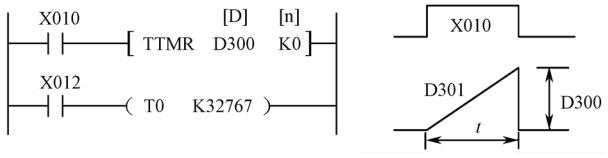


图 3-65　示教定时器指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X010
TTMR    D300    K0
LD      X012
OUT     T0      K32767
```

实例分析

当 X010 接通时，执行 TTMR 指令，X010 按下的时间由 M301 记录，该时间乘以 10*n* 后存入 D300。X010 为 OFF 时，D301 复位，D300 保持不变。TTMR 为 16 位指令。

（2）特殊定时器指令 STMR 用于产生延时断开定时器、单脉冲定时器和闪动定时器。其源操作数[S]为 T0～T199（100ms 定时器），目标操作数[D]可取 Y、M、S，[m]=1～32 767（用来指定定时器的设定值）。它是 16 位运算指令。

实例 42：特殊定时器指令的应用

实例说明

通过本实例来说明特殊定时器指令的应用。

实例实现

如图 3-66 所示。

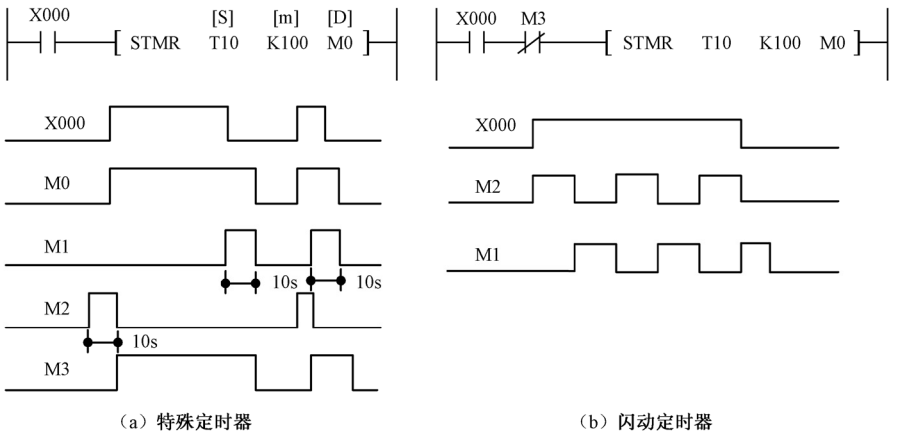


图 3-66　特殊定时器指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
（a）  LD      X000
       STMR    T10    K100    M0

（b）  LD      X000
       ANI     M3
       STMR    T10    K100    M0
```

实例分析

如图 3-66（a）所示，定时器 T10 按照 K100 指定的设定值（100ms×100=10s）进行定时，控制目标指定的开始地址连续的 4 个输出。M0 是延时断开定时器，M1 为 X0 的状态由 ON→OFF 的单脉冲定时器，M2、M3 为闪动而设。图 3-66（b）中 M3 的常闭触点接到 STMR 指令的输入电路中，使 M1、M2 产生闪动输出。

4．交替输出指令（ALTP）

交替输出指令 ALTP 的编号为 FNC66，用于实现由一个按钮控制负载的启动和停止。

实例 43：交替输出指令的应用

实例说明

通过本实例来说明交替输出指令的应用。

实例实现

如图 3-67 所示。

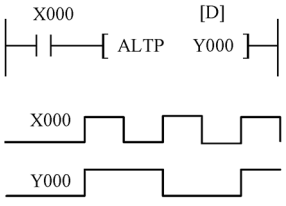


图 3-67　交替输出指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
ALTP    Y000
```

实例分析

当 X000 接通时，Y000 的状态将改变一次。若用连续的 ALT 指令，则每个扫描周期 Y000 均改变一次状态。 [D]可取 Y、M 和 S。ALT 为 16 位运算指令。

5．旋转工作台控制指令（ROTC）

旋转工作台控制指令 ROTC 的功能指令编号为 FNC68，源操作数[S]为 D，目标操作数[D]可取 Y、M 和 S，该指令只能进行 16 位运算。旋转工作台示意图如图 3-68 所示。

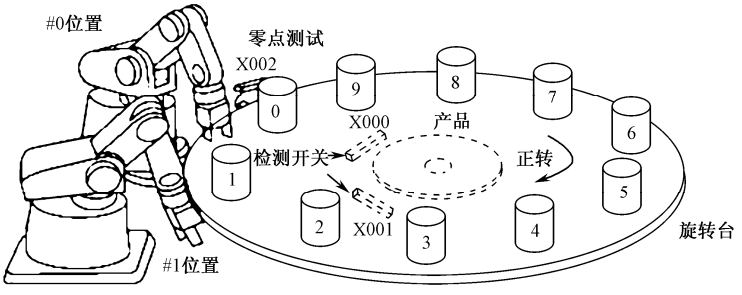


图 3-68　旋转工作台示意图

实例 44：旋转台控制指令的应用

实例说明

通过本实例来说明旋转台控制指令的应用。

实例实现

如图 3-69 所示。

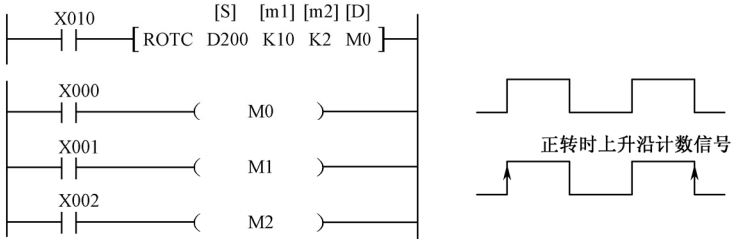


图 3-69　旋转台控制指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X010
ROTC    D200    K10    K2    M0
END
```

实例分析

程序指定 D200 作为旋转工作台位置检测计数器。[m1]=2～32 767，用来指定旋转工作台划分的位置数（本例为 10 个位置）；[m2]=0～32 767，用来指定低速区间（本例为两个位置）。[m1]≥[m2]。

[S]指定了 D200，就自动地将 D201 指定为取出窗口位置号的寄存器，要取出的工件的位置号存放在 D202 中。

图 3-69 中的目标操作数指定 M0～M2 和 M3～M7 分别用来存放输入信号和输出信号。图中用一个两相开关 X000 和 X001 检测工作台的旋转方向，X002 是原点开关，当 0 号工件转到 0 号位置时，X002 接通。输入信号 X000～X002 驱动 M0～M2（可选任意的 X 和 M 作为首元件），M0～M2 分别为 A 相信号、B 相信号和原点检测信号。M3～M7 分别用来控制高速正转、低速正转、停止、低速反转和高速反转。上述设定完成后，当 X010 的状态变成 ON 时，则执行 ROTC 指令，自动控制 M3～M7，使工作台上被指定的工件以最短路径到达出口。当 X010 的状态为 OFF 时，M3～M7 均为 OFF。

执行 ROTC 指令时，若原点检测信号 M2 为 ON，则计数寄存器 D200 清零，在开始运行之前应先执行清零操作。

若一个工件区间旋转检测信号（M0，M1）的脉冲数为 10，则分度数、呼唤位置号和工件位置号都必须乘以 10。例如，旋转检测信号为 100 脉冲/周，工作台分成 10 个位置，则[m1]应为 100，工件输入/输出信号应为 0，10，20，…，90。要使低速区为 1.5 个位置区

间，则置[m2]＝15。

3.3.9 外围设备 I/O 指令

外围设备 I/O 指令是 FX 系列与外围设备传递信息的指令，共有 10 条，分别是 10 键输入指令 TKY（FNC70）、16 键输入指令 HKY（FNC71）、数字开关输入指令 DSW（FNC72）、七段译码指令 SEGD（FNC73）、带锁存的七段显示指令 SEGL（FNC74）、方向开关指令 ARWS（FNC75）、ASCII 码转换指令 ASC（FNC76）、ASCII 打印指令 PR（FNC77）、特殊功能模块读指令 FROM（FNC78）和特殊功能模块写指令 TO（FNC79）。

1．数据输入指令

数据输入指令有 10 键输入指令 TKY（FNC70）、16 键输入指令 HKY（FNC71）和数字开关输入指令 DSW（FNC72）三种。



实例 45：数据输入指令的应用



实例说明

通过本实例来说明数据输入指令的应用。



实例实现

如图 3-70 和图 3-71 所示。

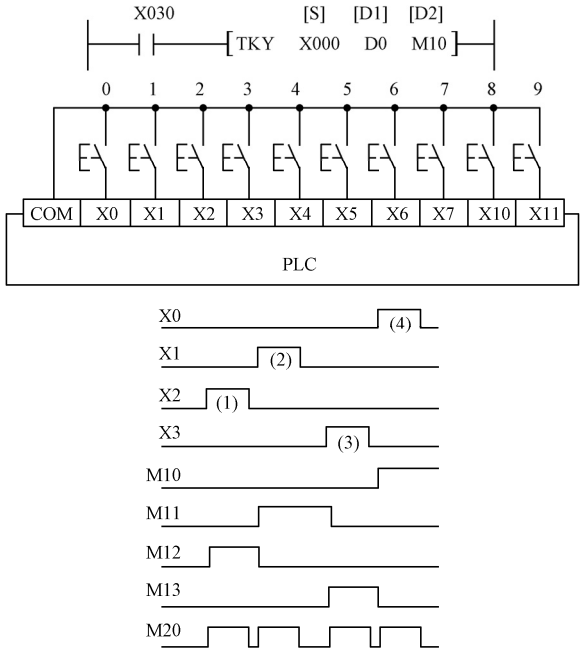


图 3-70　10 键输入接线图及输入波形图

10 键输入接线示例对应的语句表如下：

```
LD      X030
TKY     X000    D0              M10
```

16 键输入接线示例对应的语句表如下：

```
LD      X004
HKY     X000    Y000    D0      M0
```

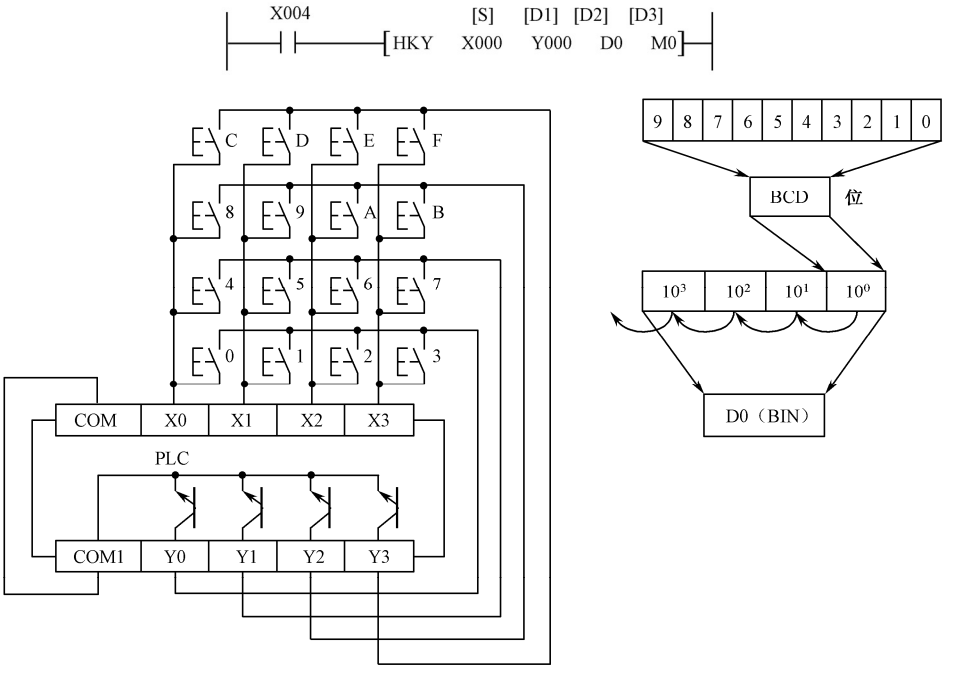


图 3-71　16 键输入接线图及 16 键输入指令数字的储存

实例分析

10 键输入指令（D）TKY 的使用如图 3-71 所示。源操作数[S]用 X000 为首元件，10 键 X000～X011 分别为对应数字 0～9。X030 接通时执行 TKY 指令，如果以 X002（2）、X010（8）、X003（3）、X000（0）的顺序按键，则[D1]中存入数据为 2830，实现了将按键变成十进制的数字量。当送入的数大于 9999 时，则高位溢出并丢失。使用 32 位指令 DTKY 时，[D1]和[D2]组合使用，高位大于 99 999 999 时则高位溢出。

当按下 X002 后，M12 置 1 并保持至另一键被按下，其他键也一样。M10～M19 动作对应于 X000～X011。按下任意键，键信号置 1 直到该键放开。当两个或更多的键被按下时，则首先按下的键有效。X030 变为 OFF 时，D0 中的数据保持不变，但 M10～M20 全部为 OFF。

此指令的源操作数可取 X、Y、M 和 S，目标操作数[D]可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，[D2]可取 Y、M、S。该指令在程序中只能使用一次。

16 键输入指令(D)HKY 的作用是通过对键盘上的数字键和功能键输入的内容实现输入的复合运算。图 3-71 中，[S]指定 4 个输入元件，[D1]指定 4 个扫描输出点，[D2]为键输入的存储元件。[D3]指示读出元件。16 键中，0～9 为数字键，A～F 为功能键，HKY 指令输

入的数字范围为 0～9999，以二进制的方式存放在 D0 中，如果大于 9999，则溢出。DHKY 指令可在[D0]和[D1]中存放最大为 99 999 999 的数据。功能键 A～F 与 M0～M5 对应，按下 A 键，M0 置 1 并保持。按下 D 键 M0 置 0，M3 置 1 并保持。以此类推。如果同时按下多个键，则先按下的有效。

该指令源操作数为 X，目标操作数[D1]为 Y。[D2]可以取 T、C、D、V 和 Z，[D3]可取 Y、M 和 S。扫描全部 16 键需 8 个扫描周期。**HKY 指令在程序中只能使用一次。**

数字开关指令（DSW）的功能指令编号为 FNC72。其功能是写入一组或两组 4 位数字开关的设置值。如图 3-72 所示，源操作数[S]为 X，用于指定输入点；[D1]为目标操作数为 Y，用来指定选通点；[D2]指定数据存储单元，它可取 T、C、D、V 和 Z；[n]指定数字开关组数。该指令只有 16 位运算，可使用两次。图中，[n]=1 指有 1 组 BCD 码数字开关。输入开关为 X010～X013，按 Y010～Y013 的顺序选通写入。数据以二进制数的形式存放在 D0 中。若[n]=2，则有两组开关。第 2 组开关接到 X014～X017 上，仍由 Y10～Y13 顺序选通写入，数据以二进制的形式存放在 D1 中。第 2 组数据只有在[n]=2 时才有效。当 X001 的状态保持为 ON 时，Y010～Y013 依次为 ON。一个周期完成后标志位 M8029 置 1。

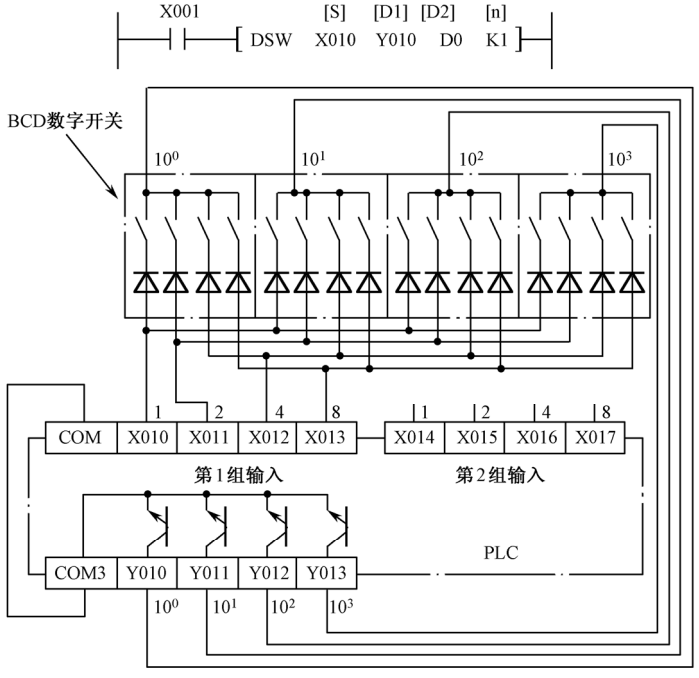


图 3-72　数字开关输入

2. 数字译码输出指令

数字译码输出指令有七段译码指令 SEGD（FNC73）和带锁存的七段显示指令 SEGL（FNC74）两条。

七段译码指令 SEGD(P) 的功能指令编号为 FNC73，源操作数可选所有数据类型，目标操作数为 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，只可进行 16 位运算。

带锁存器的七段显示指令 SEGL 的功能指令编号为 FNC74，源操作数可选所有数据类

型，目标操作数为 Y，只可进行 16 位运算，[n]=0～7，该指令在程序中可使用两次。SEGL 指令用 12 个扫描周期显示一组或两组 4 位数据，完成 4 位显示后标志 M8029 置为 1。可编程控制器的扫描周期应大于 10ms，否则应使用恒定扫描方式，该指令的执行条件一旦接通，指令就反复执行，若执行条件变为 OFF，则停止执行。

实例 46：数字译码指令的应用

实例说明

通过本实例来说明数字译码指令的应用。

实例实现

如图 3-73 所示。

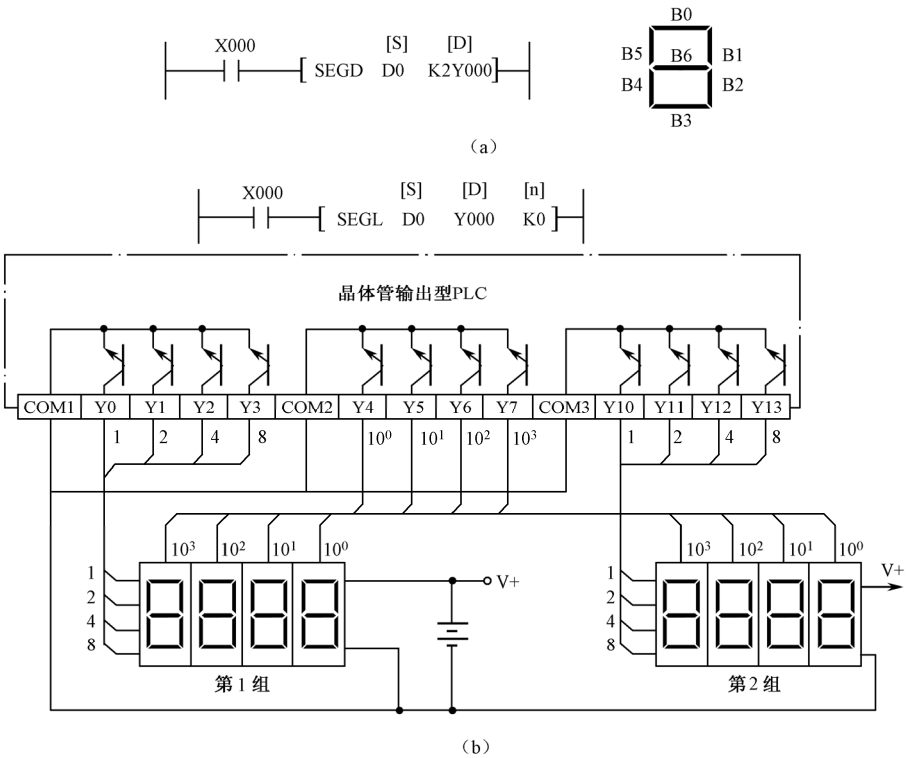


图 3-73　数字译码指令的应用

图 3-73（a）对应的语句表如下：

```
LD      X000
SEGD    D0      K2Y000
```

图 3-73（b）对应的语句表如下：

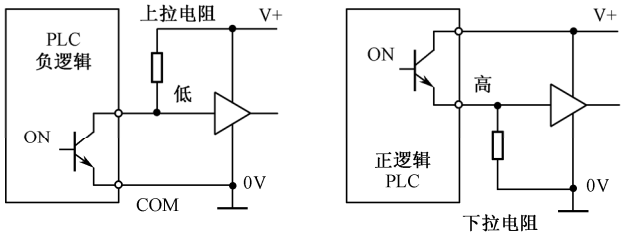
```
LD      X000
SEGL    D0      Y000    K0
```

实例分析

图 3-73（a）所示为七段译码指令 SEGD 的使用，将[S]指定元件的低 4 位（只用低 4 位）所确定的十六进制数（0～F）经译码后存于[D]指定的元件中，以驱动七段显示器，[D]的高 8 位保持不变。图 3-73 中，7 段显示器的 B0～B6 分别对应于[D]的最低位，某段应亮时[D]中对应的位为 1，反之为 0。如果要显示 0，则应在 D0 中放入数据为 3FH。

图 3-73（b）所示为带锁存器的七段显示指令 SEGL 的使用，若使用一组输出（[n]=0～3），D0 中的数据（二进制）转换为 BCD 码（0～9999）依次送到 Y000～Y003；若使用两组输出（[n]=4～7），D0 中的数据送到 Y000～Y003，D1 中的数据送到 Y010～Y013，选通信号由 Y004～Y007 提供。

可编程控制器的晶体管输出电路有漏输出（集电极输出）和源输出（发射极输出）两种，如图 3-74 所示。前者为负逻辑，梯形图中的输出继电器为 ON 时输出低电平；后者为正逻辑，梯形图中的输出继电器为 ON 时输出高电平。



（a）漏输出（负逻辑）　　（b）源输出（正逻辑）

图 3-74　漏输出与源输出

七段显示器的数据输入和选通信号也有正逻辑和负逻辑之分。若数据输入以高电平为“1”，则为正逻辑；反之为负逻辑。若选通信号在高电平时锁存数据，则为正逻辑；反之为负逻辑。

参数[n]的值由显示器的组数及可编程控制器与七段显示器的逻辑是否相同而确定。设可编程控制器的输出为负逻辑，显示器的数据输入为负逻辑，即二者相同，选通信号为正逻辑（二者不同），则一组显示时[n]=1，两组显示时[n]=5。

3．ASCII 码打印指令

打印指令 PR 的功能编号为 FNC77，源操作数为 T、C 和 D，目标操作数为 Y，只可进行 16 位运算。该指令用于 ASCII 码的打印输出，与 ASC 指令配合使用，可以用外部显示出错信息等。

实例 47：打印输出指令的应用

实例说明

通过本实例来说明打印输出指令的应用。

实例实现

如图 3-75 所示。

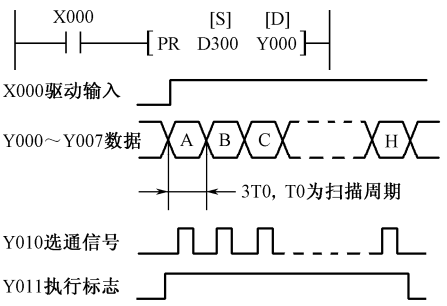


图 3-75　打印输出指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD    X000
PR    D300    Y000
```

实例分析

当 X000 接通时，D300～D303 中的 8 个 ASCII 码送到 Y000～Y007 打印，同时用 Y010 和 Y011 输出选通信号和执行标志信号。PR 指令可使用定时中断方式来驱动，并且必须使用晶体管输出型可编程控制器。若扫描时间短，则可用定时中断方式执行。标志 M8027 的状态为 ON 时，PR 指令可以一次送出 16 个 ASCII 码。

4．特殊功能模块的读、写指令

读特殊功能模块指令 FROM 的功能指令编号为 FNC78，目标操作数为 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。

写特殊功能模块指令 TO 的功能指令编号为 FNC79，该指令是将 PLC 中指定的以 S 元件为首地址的[n]个数据，写到编号为[m1]的特殊功能模块，并存入该特殊功能模块中以[m2]为首地址的缓冲寄存器（BFM）内。其源操作数可取所有的数据类型，[m1]、[m2]、[n]的取值范围：[m1]=0～7；[m2]=0～32 767；[n]=1～32 767。

实例 48：读、写特殊功能模块指令的应用

实例说明

通过本实例来说明读、写特殊功能模块指令的应用。

实例实现

如图 3-76 所示。

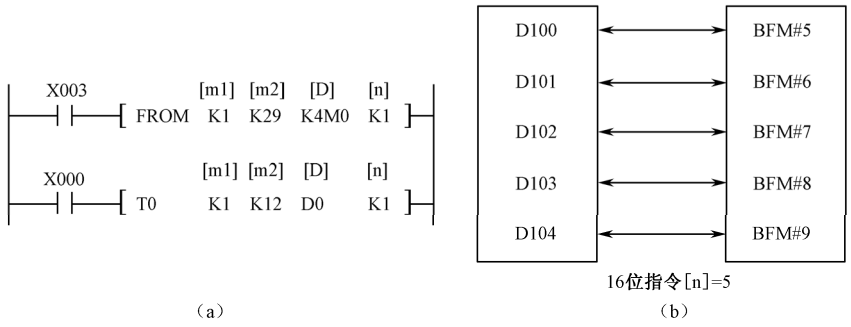


图 3-76　读、写特殊功能模块指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X003
FROM    K1      K29     K4M0    K1
LD      X000
TO      K1      K12     D0      K1
```

实例分析

如图 3-76（a）所示，当 X3 接通时，将编号为[m1]的特殊功能模块内编号为[m2]开始的 *n* 个缓冲寄存器的数据写入可编程控制器，并存入[D]开始的 *n* 个数据寄存器中。[m1]是特殊功能模块（如模拟量输入单元、模拟量输出单元和高速计数器单元等）的编号。[m1]=0～7 是接在 FX 系列可编程控制器基本单元的右边扩展总线上的功能模块，从最靠基本单元的那个开始，其编号依次为 0～7。[m2]是特殊功能中缓冲寄存器（BFM）的首元件号，[m2]＝0～32 767，传送示意图如图 3-76（b）所示。32 位指令以双字节为单位传送数据，指定的 BFM 为低 16 位。

当 X000 接通时，将可编程控制器基本单元中，从[S]指定的元件开始的 *n* 个字的数据，写到编号为[m1]、[m2]的 *n* 个缓冲寄存器（BFM）中。M8028 为 1 时，在 FROM 和 TO 指令的执行过程中，禁止中断；在此期间发生的中断在 FROM 和 TO 指令的执行完后执行。M8028 为 0 时，在 FROM 和 TO 指令的执行过程中，不禁止中断。

3.3.10　外围设备（SER）指令

外围设备（SER）指令包括串行通信指令 RS（FNC80）、八进制数据传送指令 PRUN（FNC81）、HEX→ASCII 转换指令 ASCII（FNC82）、ASCII→HEX 转换指令 HEX（FNC83）、校验码指令 CCD（FNC84）、模拟量输入指令 VRRD（FNC85）、模拟量开关设定指令 VRSC（FNC86）和 PID 运算指令 PID（FNC88）8 条指令。

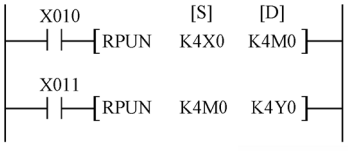


图 3-77　八进制数据传送指令的应用

1．八进制数据传送指令

八进制数据传送指令(D)PRUN(P)（FNC81）用于八进制数的传送。如图 3-77 所示，当 X010 为 ON 时，将 X000～X017 内容送至 M0～M7 和 M10～M17（因 X 为八进制，故 M9 和 M8 的内

容不变）。当 X011 为 ON 时，则将 M0～M7 送至 Y000～Y007，M10～M17 送至 Y010～Y017。源操作数可取 KnX、KnM，目标操作数取 KnY、KnM，[n]=1～8。

2．十六进制数与 ASCII 码转换指令

（1）HEX→ASCII 转换指令。HEX→ASCII 转换指令 ASCI(P)的编号为 FNC82，其功能是将源操作数[S]中的内容（十六进制数）转换成 ASCII 码放入目标操作数[D]中。如图 3-78 所示，[n]表示要转换的字符数（[n]=1～256）。M8161 控制采用 16 位模式或 8 位模式。16 位模式时，每 4 个 HEX 占用 1 个数据寄存器，转换后每两个 ASCII 码占用一个数据寄存器；8 位模式时，转换结果传送到[D]低 8 位，其高 8 位为 0。PLC 运行时，M8000 的状态为 ON，M8161 状态为 OFF，此时为 16 位模式。当 X000 的状态为 ON 时，执行 ASCII。如果放在 D100 中的 4 个字符为 OABCH，则执行后将其转换为 ASCII 码送入 D200 和 D201 中，D200 高位放 A 的 ASCII 码 41H，低位放 0 的 ASCII 码 30H，D201 则放 BC 的 ASCII 码，C 放在高位。该指令的源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C 和 D。该指令只可进行 16 位运算。

（2）ASCII→HEX 转换指令。ASCII→HEX 转换指令 HEX(P)的编号为 FNC83，其功能与 ASCII 指令相反，是将 ASCII 码表示的信息转换成十六进制的信息。如图 3-79 所示，将源操作数 D200～D203 中放的 ASCII 码转换成十六进制放入目标操作数 D100 和 D101 中。该指令只可进行 16 位运算。源操作数为 K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C 和 D，目标操作数为 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。



图 3-78　HEX→ASCII 转换指令的应用



图 3-79　ASCII→HEX 转换指令的应用

3．校验码指令

校验码指令 CCD(P)（FNC84）的功能是对一组数据寄存器中的十六进制数进行总校验和奇偶校验。如图 3-80 所示，将源操作数[S]指定的 D100～D102 共 6 字节的 8 位二进制数求和并“异或”，将结果分别放在目标操作数 D0 和 D1 中。通信过程中可将数据和“异或”结果随同发送，对方接收到信息后，先将传送的数据求和并“异或”，再与收到的和及“异或”结果比较，以此判断传送信号的正确与否。源操作数可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C 和 D，目标操作数可取 KnM、KnS、T、C 和 D，[n]可用 K、H 或 D，[n]=1～256。该指令为 16 位运算指令。

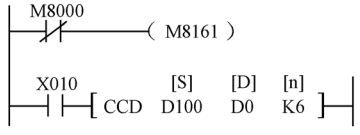


图 3-80　校验码指令的应用

PRUN、ASCI、HEX、CCD 常在串行通信中配合 RS 指令使用。

4．串行通信指令

串行通信指令 RS 是通信功能扩展板发送和接收串行数据的指令。

实例 49：串行通信指令的应用

实例说明

通过本实例来说明串行通信指令的应用。

实例实现

如图 3-81 所示。

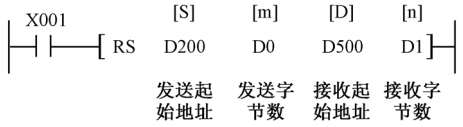


图 3-81　串行通信指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD    X001
RS    D200    D0    D500    D1
END
```

实例分析

指令中的[S]和[m]用来指定发送数据的地址和字节数（不包括起始字符与结束字符）；[D]和[n]用来指定接收数据的地址和可以接收的最大数据字节数；[m]和[n]为常数（1～4096）。

一般用初始化脉冲 M8002 驱动的 MOV 指令将数据的传输格式（如数据位数、奇偶校验位、停止位、传输速率、是否有调制解调）写入特殊数据寄存器 D8120 中。系统不需要接收数据时，应将最大接收数据字节数设置为 0。

通过向特殊寄存器 D8120 写数据来设置数据的传输格式。如果发送的数据长度是一个变量，需设置新的数据长度。

RS 指令被驱动时，PLC 被置为等待接收状态。RS 指令规定了 PLC 发送数据的存储区的首地址和字节数，以及接收数据的存储区的首地址和可以接收数据的最大字节数。RS 指令应总处于被驱动的状态。

在发送请求脉冲驱动下，向指定的发送数据区写入指定数据，并置位发送请求标志 M8122。发送完成后，M8122 自动复位。

当接收完成后，接收完成标志 M8123 被置位。用户程序利用 M8123，将接收到的数据存入指定的存储区。若还需要接收数据，需要用户程序将 M8123 复位。

5．模拟量输入指令

模拟量输入指令 VRRD(P)（FNC85）用于对 FX_{2N}—8AV—BD 模拟量功能扩展板中的

电位器数值进行读操作。

实例 50：模拟量输入指令的应用

实例说明

通过本实例来说明模拟量输入指令的应用。

实例实现

如图 3-82 所示。

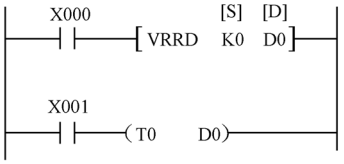


图 3-82　模拟量输入指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD      X000
VRRD    K0      D0
LD      X001
OUT     T0      D0
```

实例分析

当 X000 接通时，读出 FX_{2N}—8AV—BD 中 0 号模拟量的值（由 K0 决定），将其送入 D0 作为 T0 的设定值。源操作数可取 K、H，它用来指定模拟量口的编号，取值范围为 0～7；目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。该指令只可进行 16 位运算。

6．模拟量开关设定指令

模拟量开关设定指令 VRSC(P)（FNC86）的作用是将 FX—8AV 中电位器读出的数四舍五入整量化后，以 0～10 之间的整数值存放在目标操作数中。它的源操作数[S]可取 K 和 H，用来指定模拟量口的编号，取值范围为 0～7；目标操作数[D]的类型与 VRRD 指令相同。该指令为 16 位运算指令。

3.3.11　触点比较指令

触点比较指令共有 18 条。

1．LD 触点比较指令

LD 触点比较指令的编号、助记符、功能如表 3-63 所示。

表 3-63　LD 触点比较指令

编　　号	助　记　符	导 通 条 件	非导通条件
FNC224	(D)LD=	[S1]=[S2]	[S1]≠[S2]
FNC225	(D)LD>	[S1]>[S2]	[S1]≤[S2]
FNC226	(D)LD<	[S1]<[S2]	[S1]≥[S2]
FNC228	(D)LD<>	[S1]≠[S2]	[S1]=[S2]
FNC229	(D)LD≤	[S1]≤[S2]	[S1]>[S2]
FNC230	(D)LD≥	[S1]≥[S2]	[S1]<[S2]

图 3-83 所示为“LD=”指令的应用，当计数器 C10 的当前值为 200 时驱动 Y010。

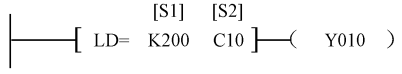


图 3-83 “LD=”指令的应用

其他 LD 触点比较指令不再一一说明。

2．AND 触点比较指令

AND 触点比较指令的编号、助记符、功能如表 3-64 所示。

表 3-64　AND 触点比较指令

编　　号	助　记　符	导 通 条 件	非导通条件
FNC232	(D)AND=	[S1]=[S2]	[S1]≠[S2]
FNC233	(D)AND>	[S1]>[S2]	[S1]≤[S2]
FNC234	(D)AND<	[S1]<[S2]	[S1]≥[S2]
FNC236	(D)AND<>	[S1]≠[S2]	[S1]=[S2]
FNC237	(D)AND≤	[S1]≤[S2]	[S1]>[S2]
FNC238	(D)AND≥	[S1]≥[S2]	[S1]<[S2]

图 3-84 所示为“AND=”指令的应用，当 X000 的状态为 ON 且计数器 C10 的当前值为 200 时，驱动 Y010。

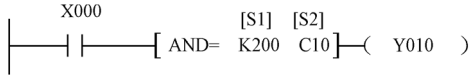


图 3-84 “AND=”指令的应用

3．OR 触点比较指令

OR 触点比较指令的编号、助记符、功能如表 3-65 所示。

表 3-65　OR 触点比较指令

编　　号	助　记　符	导 通 条 件	非导通条件
FNC240	(D)OR=	[S1]=[S2]	[S1]≠[S2]

续表

编　　号	助 记 符	导 通 条 件	非导通条件
FNC241	(D)OR>	[S1]>[S2]	[S1]≤[S2]
FNC242	(D)OR<	[S1]<[S2]	[S1]≥[S2]
FNC244	(D)OR<>	[S1]≠[S2]	[S1]=[S2]
FNC245	(D)OR≤	[S1]≤[S2]	[S1]>[S2]
FNC246	(D)OR≥	[S1]≥[S2]	[S1]<[S2]

实例 51：触点比较指令(OR=)的应用

实例说明

通过本实例来说明触点比较指令的应用。

实例实现

如图 3-85 所示。

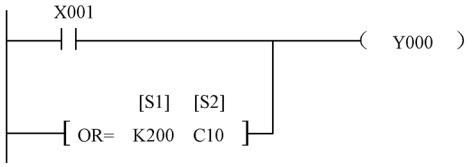


图 3-85 “OR=”指令的应用

示例对应的语句表如下：

```
LD    X001
OR=   K200     C10
OUT   Y000
END
```

实例分析

当 X1 处于 ON 状态或计数器的当前值为 200 时，驱动 Y0。触点比较指令的源操作数可取任意数据格式。

思考题

1．FX_{2N} 系列 PLC 的功能指令有哪几种类型？其表达形式应包含哪些内容？
2．逻辑堆栈指令的主要作用是什么？它的指令有哪些？
3．定时器有几种类型？各有何特点？
4．计数器有几种类型？各有何特点？
5．设计一个计数范围为 60 000 的计数器。

6．写出图 3-86 所示梯形图的语句表程序。

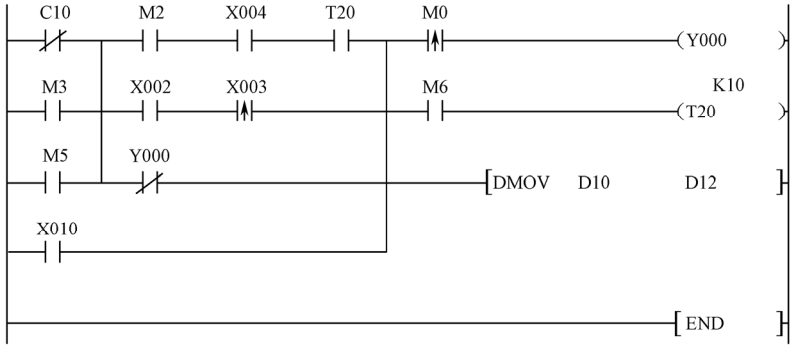


图 3-86　习题 6 梯形图

7．指出图 3-87 所示梯形图的错误。

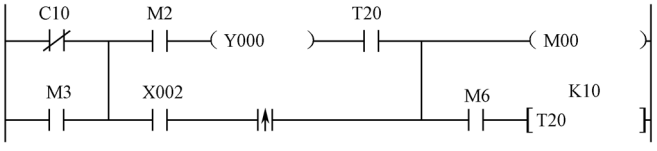


图 3-87　习题 7 梯形图

8．用循环移位指令设计一个彩灯控制程序，8 路彩灯串按 H1→H2→H3→…→H8 的顺序依次点亮，并且不断重复循环。各路彩灯之间的间隔时间为 0.2s。

9．用接在 X000 输入端的光电开关检测传送带上通过的产品，有产品通过时 X000 的状态为 ON，如果在 10s 内没有产品通过，由 Y000 发出报警信号，用 X001 输入端外接的开关解除报警信号。画出梯形图，并写出对应的语句表。

10．用定时中断设计一个每 0.1s 采集一次模拟量输入值的控制程序。

11．在功能指令中，什么是连续执行？什么是脉冲执行？

12．计算 D5、D7、D9 之和并放入 D20 中，求以上 3 个数的平均值，将其放入 D30。

13．当输入条件 X000 满足时，将 C8 的当前值转换成 BCD 码送到输出元件 K4Y000 中，画出梯形图。

14．当 X001 的状态为 ON 时，用定时器中断，每 99ms 将 Y010～Y013 组成的位元件组 K1Y010 加 1，设计主程序和中断子程序。

15．用时钟指令控制路灯的定时接通和断开，20：00 时开灯，06：00 时关灯。画出梯形图，并写出对应的语句表。

第 4 章　PLC 系统的基本控制编程

程序是运用相应的指令和数据，遵循一定的规律，编制成具有一定控制功能的信息语言。PLC 程序分为系统程序和应用程序（用户程序）。系统程序是 PLC 生产厂家编制的程序，存放在系统内存中，用于系统控制；用户程序是用户根据受控对象的生产过程和工艺要求，为解决实际应用问题而编制的程序。本章主要介绍 PLC 用户程序的编程规则与技巧、基本控制程序、常用电动机控制及简易梯形图程序设计。

4.1　编程规则与技巧



PLC 的梯形图程序是从继电器触点控制系统基础上发展起来的一种编程语言。继电器控制电路是从左到右、从上到下同时工作的，而 PLC 是按照逐行扫描方式工作的。因此，在编写梯形图程序时，不可以完全按照继电器线路的设计方法进行，必须按照 PLC 的梯形图设计原则和规律进行。在 PLC 梯形图程序中，元器件或触点排列顺序对程序执行可能会带来很大影响，有时甚至使程序无法运行。

4.1.1　继电器线路可使用、梯形图不能（不宜）使用的情况

虽然 PLC 的梯形图功能要远远强于继电器触点控制线路，但并非可以完全、无条件地照搬全部继电器触点控制线路，有的线路必须通过必要的处理才能用于 PLC 梯形图中。下面两种情况在继电器控制回路中可以正常使用，但在 PLC 中需要经过必要的处理。

1.“桥接”支路

在梯形图中，不允许进行“垂直”方向的触点编程，这违背 PLC 的指令执行顺序。在图 4-1（a）、（c）、（e）所示的继电器控制线路中，为了节约触点，常采用“电桥型连接”（简称“桥接”支路）交叉实现对线圈 KM1、KM2 的控制。但在 PLC 梯形图控制程序中，只能采用图 4-1（b）、（d）、（f）所示的程序。图中，K1 对应 X001；K2 对应 X002；K3 对应 X003；K4 对应 X004；K5 对应 X005；KM1 对应 Y001；KM2 对应 Y002。

2.“后置触点”的处理

在图 4-2（a）所示的继电器控制回路中，可以在继电器线圈后使用“后置触点”。但在 PLC 梯形图中，不允许在输出线圈后使用“后置触点”，必须将输出线圈后“触点”移到线圈前，如图 4-2（b）所示。图中，K1 对应 X001；K2 对应 X002；K3 对应 X003；KM1 对应 Y001；KM2 对应 Y002。

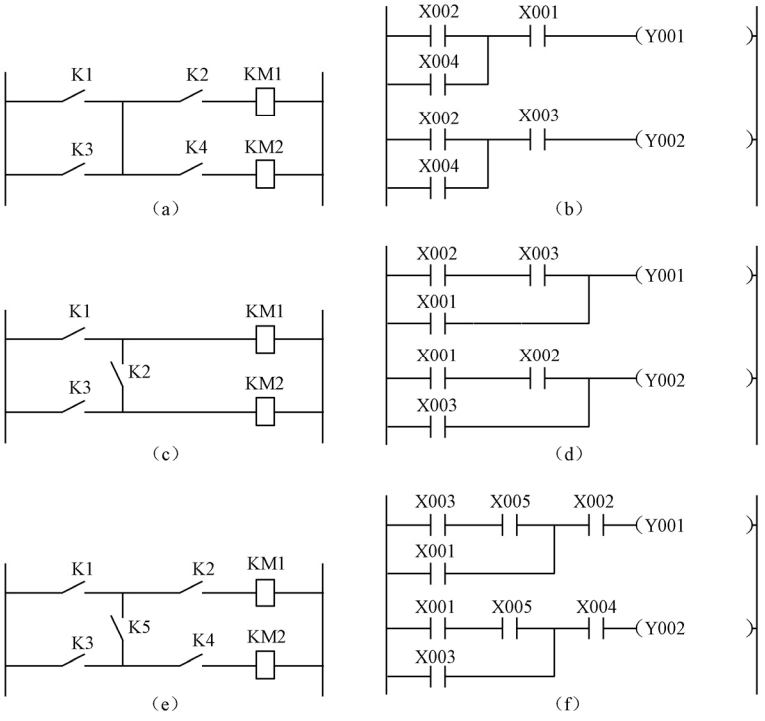


图 4-1 “桥接”支路的处理

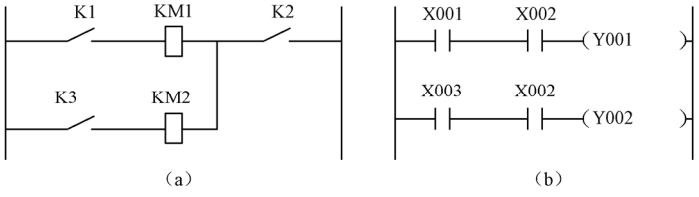


图 4-2 “后置触点”的处理

4.1.2 梯形图能使用、继电器线路不能实现的情况

1．线圈重复

在继电器控制回路中，继电器线圈是不能重复使用的。但在 PLC 梯形图程序中，因编程需要，有时使用线圈重复输出（同一输出线圈重复使用）。在图 4-3（a）所示的梯形图中，输出线圈 Y003 重复使用（编程时可能提示线圈重复错误），Y003 的最终输出状态以最后执行的程序处理结果（第 2 次输出）为准。对于第 2 次输出前的程序段，Y003 的内部状态为第 1 次的输出状态。运行时序如图 4-3（b）所示，第 1 次输出时，当 X000 与 X002 同时为“1”、X001 与 X003 均为“0”时，Y003 将输出“1”，Y001 将输出“0”；第 2 次输出时，当 X000 与 X002 有一个为“0”、X001 与 X003 有一个为“1”时，Y003 将输出“1”，并且 X003 为“1”时 Y001 才输出“1”。

2．边沿信号处理

在 PLC 梯形图程序中，可以实现边沿信号输出。在继电器控制回路中，类似回路的设

计没有任何意义。图 4-4 所示为边沿信号输出梯形图及其运行时序。PLC 严格按照梯形图“从上到下”的时序执行，当 X001 为“1”的第 1 个 PLC 循环周期里，可以出现 M0、M1 同时为“1”的状态，即 M1 可以获得宽度为 1 个 PLC 循环周期的脉冲输出。在三菱 FX、Q 等系列产品中已有边沿信号处理的编程指令，如指令┤↑├、┤↓├等。

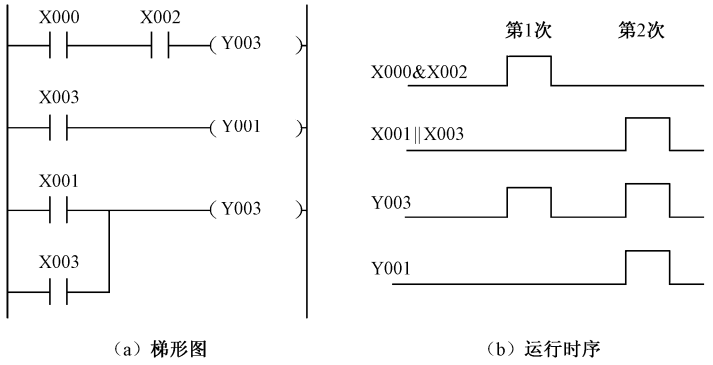


图 4-3　线圈重复输出的梯形图及其运行时序

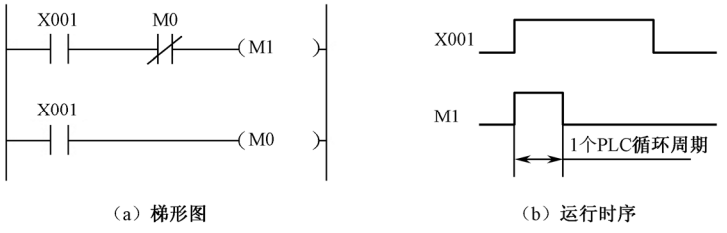


图 4-4　边沿信号输出的梯形图及其运行时序

4.1.3　梯形图程序的优化

在编写梯形图时，某些指令的先后次序调整从实现的动作上看并无区别，但是转换为指令表后，其指令条数不同，占用的存储器容量有区别。为了简化程序，减少指令，有效地节约一些用户程序区域，需要对梯形图程序进行优化。

1．并联支路梯形图优化

在若干支路并联的梯形图程序中，应将串联触点较多的支路编写在梯形图的上方，这样可以省略程序执行时的堆栈操作，减少指令数。如图 4-5 所示，两个梯形图实现的逻辑功能一样。图 4-5（a）中串联触点较多的支路编在梯形图下方，增加了指令条数，多占用了用户程序区域，不够合理，应该修改为图 4-5（b）所示的梯形图。

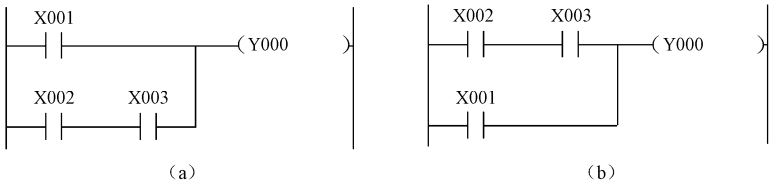


图 4-5　并联支路梯形图优化

图 4-5（a）梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X001
LD      X002
AND     X003
ORB
OUT     Y000
```

图 4-5（b）梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X002
AND     X003
OR      X001
OUT     Y000
```

2．串联支路梯形图优化

在串联支路中，并联触点较多的支路编在梯形图左边，这样也可以省略程序执行时的堆栈操作，减少指令条数。图 4–6 所示的两个梯形图实现的逻辑功能一样，但程序繁简程度却不同。将串联的两支路左、右对换后，并联的两个分支上、下对换。变换后，原有的逻辑关系不变，但程序却简化了，指令数也减少了。

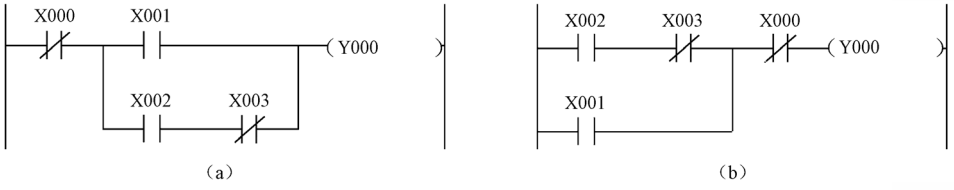


图 4-6　串联支路梯形图优化

图 4-6（a）梯形图对应的语句表如下：

```
LDI     X000
LD      X001
LD      X002
ANI     X003
ORB
ANB
OUT     Y000
```

图 4-6（b）梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X002
ANI     X003
OR      X001
ANI     X000
OUT     Y000
```

从串、并联支路梯形图优化调整可以看出，在梯形图设计或变换时，遵循“左沉右轻”、“上沉下轻”的原则。这样可以减少指令条数，优化梯形图程序。

3．复杂逻辑梯形图优化

在一些复杂逻辑的梯形图中，应使梯形图的逻辑关系尽量清楚，便于阅读检查和输入

程序。图 4-7（a）所示的梯形图结构比较复杂，逻辑关系不够清楚，用 ORB、ANB 指令编程不便于区分逻辑关系。这时，可以重复使用一些触点，画出它的等效电路梯形图，如图 4-7（b）所示。程序指令条数虽然增多，但逻辑关系清楚，便于阅读和编程。

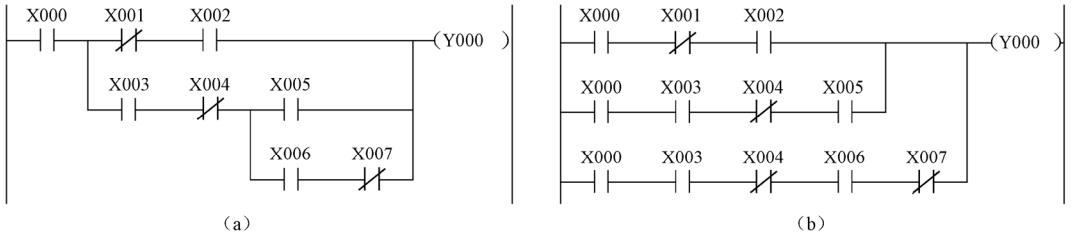


图 4-7　复杂逻辑梯形图调整

图 4-7（a）梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
LDI     X001
AND     X002
LD      X003
ANI     X004
LD      X005
LD      X006
ANI     X007
ORB
ANB
ORB
ANB
OUT     Y000
```

图 4-7（b）梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
ANI     X001
AND     X002
LD      X000
AND     X003
ANI     X004
AND     X005
LD      X000
AND     X003
ANI     X004
AND     X006
ANI     X007
ORB
OUT     Y000
```

4．辅助继电器的使用

为了简化程序，减少指令步数，在程序设计时对于需要多次使用的若干逻辑运算的组合，应尽量使用内部辅助继电器。这样既可以简化程序，又可以在逻辑运算条件修改时，只

需修改内部辅助继电器的控制条件，即可完成所有程序的修改，为程序的修改、调整带来方便。示例如图 4-8 所示，在图 4-8（b）中运用了辅助继电器 M1。

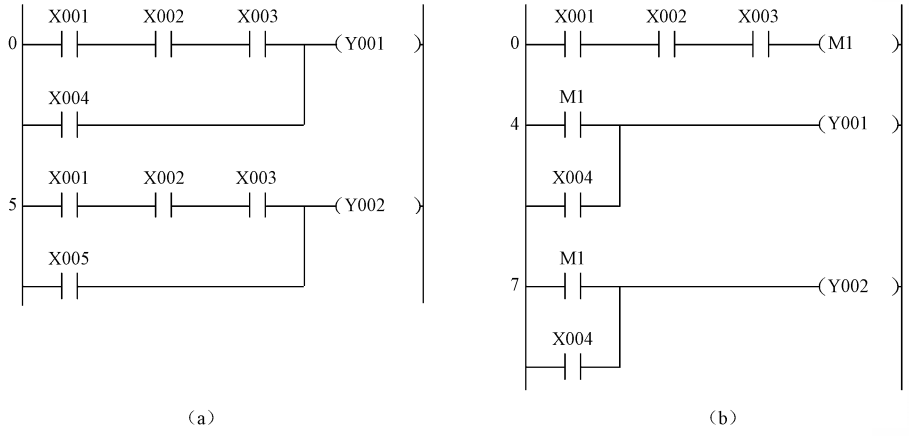


图 4-8　内部辅助继电器的使用

4.2　基本控制程序

在工程应用中，控制程序都是由一些基本的、典型的逻辑控制组成的。如果能够掌握常用的基本控制程序的设计原理、方法及编程技巧，在编制大型和复杂程序时，就能够驾轻就熟，大大缩短编程的时间。

4.2.1　自锁、互锁与连锁控制

自锁、互锁控制是梯形图控制程序中最基本的环节，其中互锁中包含有连锁控制情况，常用于输入开关和输出线圈的应用编程。

实例 52：自锁、互锁与连锁控制

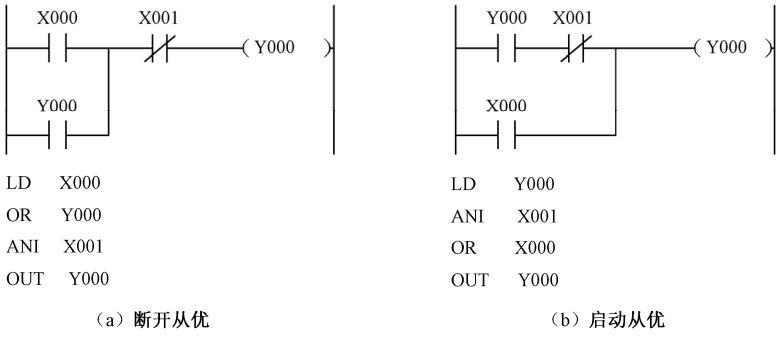
实例说明

自锁、互锁与连锁控制是 PLC 控制程序中常用的控制程序形式，自锁控制也是常说的启—保—停控制。互锁控制就是在两个或两个以上输出继电器网络中，只能保证其中一个输出继电器接通输出，而不能让两个或两个以上输出继电器同时输出，避免了两个或两个以上输出继电器不能同时动作的控制对象同时动作。在工程控制系统中，控制对象是以另一个控制对象动作的前提下才能动作的，称为连锁控制。

实例实现

（1）自锁控制。梯形图如图 4-9 所示。X000 闭合使 Y000 得电，随之 Y000 触点闭合。此后即使 X000 触点断开，Y000 仍保持得电。只有当常闭触点 X001 断开时，Y000 才断电，Y000 触点断开。如果要再次启动 Y000，只有重新闭合 X000。程序中，X000 触点为启

动触点（对应按钮为启动按钮）；X001 触点为停止触点（对应按钮为停止按钮）；Y000 触点为自锁触点。图 4-9（a）、（b）所示的两梯形图的逻辑功能相同，不同点是当启动按钮对应触点 X000、停止按钮对应触点 X001 同时按下时，图 4-9（a）的输出 Y000 为断开，称为“断开从优”形式；图 4-9（b）的输出 Y000 为接通，称为“启动从优”形式。



（a）断开从优　　（b）启动从优

图 4-9　自锁控制程序梯形图

（2）互锁控制。梯形图如图 4-10 所示。在输出线圈 Y000 和 Y001 网络中，Y000 和 Y001 的常闭触点分别接在对方网络中。只要有一个触点先接通（如 Y000），另一个触点就不能再接通（如 Y001），从而保证任何时候两者都不能同时启动，这种控制称为互锁控制。常闭触点 Y000 和 Y001 为互锁触点。

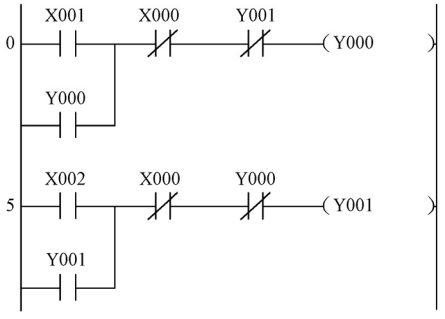


图 4-10　互锁控制程序梯形图

本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X001
OR      Y000
ANI     X000
ANI     Y001
OUT     Y000
LD      X002
OR      Y001
ANI     X000
ANI     Y000
OUT     Y001
```

（3）连锁控制。梯形图如图 4-11 所示。在图 4-11（a）输出线圈 Y000 和 Y001 网络中，由于有常开触点 Y000 接在 Y001 网络中，而在 Y000 网络中没有常开触点 Y001 接入，

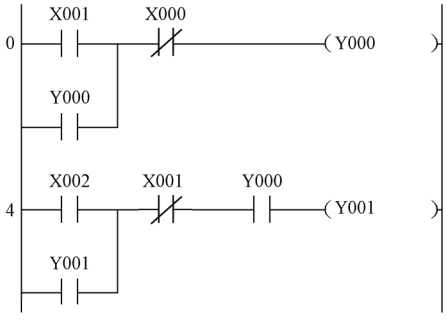
因此只有当 Y000 接通时，Y001 才有可能接通。只要 X000 为 OFF，Y000 和 Y001 均断开，若 Y000 断开，Y001 就不可能接通。在图 4-11（b）中，由于 Y001 网络并接在 Y000 网络中，只有当 Y000 接通后，Y001 才有可能接通。在 Y000 和 Y001 均接通的情况下，当 X000 为 OFF 时，Y000 与 Y001 均断开，若只有 X003 为 OFF，Y001 断开，Y000 仍保持原有状态。图 4-11（a）和（b）只是梯形图形式不同，其实质是相同的。也就是说，一方的动作是以另一方的动作为前提的，这种控制称为连锁控制。

图 4-11（a）梯形图对应的语句表如下：

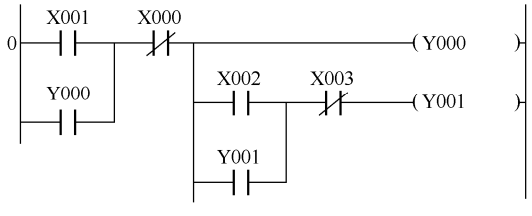
```
LD      X001
OR      Y000
ANI     X000
OUT     Y000
LD      X002
OR      Y001
ANI     X001
AND     Y000
OUT     Y001
```

图 4-11（b）梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X001
OR      Y000
ANI     X000
OUT     Y000
LD      X002
OR      Y001
ANB
ANI     X003
OUT     Y001
```



（a）触点连锁形式



（b）网络接入连锁形式

图 4-11　连锁控制程序梯形图

实例分析

在图 4-9 所示的自锁控制程序中，常开触点 X000 为启动触点；常闭触点 X001 为停止触点；Y000 触点为自锁触点。这种自锁控制常用于以无锁定开关作为启动开关，或者用只接通一个扫描周期的触点去启动一个持续动作的控制电路。在图 4-10 所示的互锁控制程序中，输出继电器 Y000 和 Y001 不能同时启动接通，这种控制称为互锁控制，常闭触点 Y000 和 Y001 为互锁触点。这种互锁控制常用于被控的是一组不允许同时动作的对象，如电动机正、反转控制等。在图 4-11 中的输出继电器 Y000 和 Y001 网络，只有当 Y000 接通时，Y001 才有可能接通，只要 Y000 断开，Y001 就不可能通，也就是说一方的动作是以另一方的动作为前提的，这种控制称为连锁控制。这种连锁控制常用于被控的是一组有连锁要求的动作对象。例如，在机床启动时，一般先启动润滑系统，后启动主轴系统，可以避免主轴未润滑时启动，减轻主轴磨损。

4.2.2 时间控制

在 PLC 控制系统中，时间控制用得非常多，其中大部分用于延时和定时控制。在 FX_{2N} 型可编程控制器内部有两种类型的定时器和 3 个等级分辨率（1ms、10ms 和 100ms）可以用于时间控制。下面通过 5 个实例介绍时间控制。

实例 53：瞬时接通/延时断开控制

实例说明

瞬时接通/延时断开控制要求在输入信号有效时，马上有输出，而输入信号无效后，输出信号延时一段时间才停止。

实例实现

图 4-12 所示分别是瞬时接通/延时断开控制的梯形图和时序图。在图 4-12（a）所示的梯形图中，当 X000 的状态为 ON 时，输出 Y000 的状态为 ON 并自锁；当 X000 的状态为 OFF 时，定时器 T10 工作 3s 后，定时器常闭触点断开，使输出 Y000 断开。在图 4-12（b）所示的梯形图中，当 X000 瞬间接通后断开，则 Y000 的状态为 ON 且自锁，定时器 T10 工作 3s 后，定时器触点闭合，使输出 Y000 断开。

图 4-12（a）梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
OR      Y000
ANI     T10
OUT     Y000
ANI     X000
OUT     T10     K30
```

图 4-12（b）梯形图对应的语句表如下：

```
LDI     X000
AND     Y000
```

```
OUT     T10     K30
LD      X000
OR      Y000
ANI     T10
OUT     Y000
```

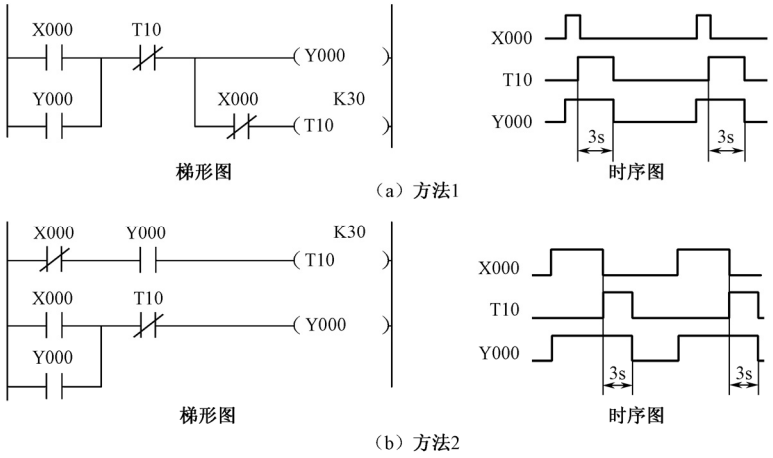


图 4-12　瞬时接通/延时断开

实例分析

图 4-12 所示的梯形图程序中，定时器工作时，因为 X000 的状态变为 OFF 后，Y000 仍要保持得电状态 3s，所以 Y000 的自锁触点是必须的。图 4-12（a）和（b）所示瞬时接通/延时断开控制的梯形图程序的功能相同，但梯形图结构不同，说明完成同一功能的程序可能有多种程序结构形式，读者可以自行编制梯形图程序。

实例 54：延时接通/延时断开控制

实例说明

延时接通/延时断开控制要求输入信号处于 ON 状态后，停一段时间后输出信号才处于 ON 状态；输入信号处于 OFF 状态后，输出信号延时一段时间才处于 OFF 状态。与瞬时接通/延时断开控制相比，该控制程序多加了一个输入延时。

实例实现

图 4-13 所示是延时接通/延时断开控制的梯形图和时序图，图中 T10 延时 2s 作为 Y000 的启动条件，T11 延时 5s 作为 Y000 的断开条件，两个定时器配合使用实现 Y000 的输出。本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
OUT     T10     K20
LDI     X000
```

```
ADN     Y000
OUT     T11     K50
LD      T10
OR      Y000
ANI     T11
OUT     Y000
```

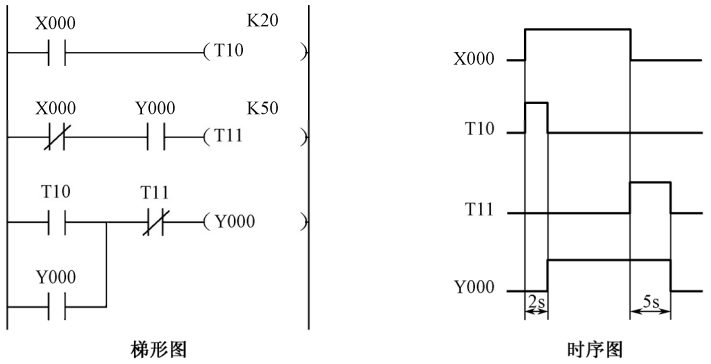


图 4-13　延时接通/延时断开

实例分析

图 4-13 所示的梯形图程序中，使用 T10 和 T11 定时器，配合实现控制电路的功能，可以通过修改调整 T10 和 T11 的设定时间，得到需要的延时时间。延时接通/延时断开控制的梯形图用接通延时定时器和断开延时定时器可以使程序更简单。读者可以自行编制梯形图程序。

实例 55：长延时控制

实例说明

有些控制场合延时时间长，超出了定时器的定时范围，我们称为长延时。长延时电路可以用小时（h）、分钟（min）作为单位来设定。长延时控制可以使用多个定时器组合方式实现，也可以采用定时器和计数器组合方式实现。

实例实现

（1）多个定时器组合实现长延时控制。在图 4-14 所示的长延时控制程序中，Y000 的接通是由定时器 T10 实现的，Y001 接通是由定时器 T10 与 T11 共同定时实现的，这就是多个定时器组合实现长延时的情况。本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
OUT     T10     K2000
LD      T10
OUT     T11     K10000
```

```
LD      T10
OUT     Y000
LD      T11
OUT     Y001
```

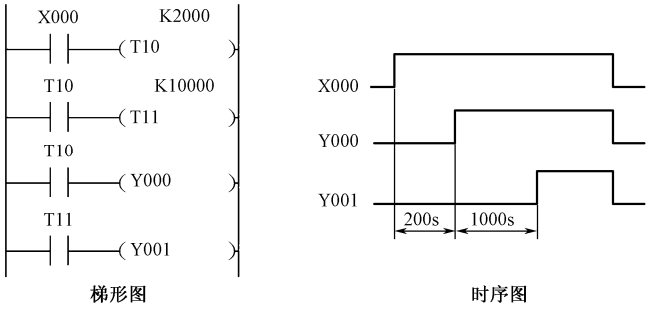


图 4-14　定时器串联实现长延时控制

（2）定时器和计数器组合实现长延时控制。在图 4-15 所示的定时器和计数器组合实现长延时控制程序中，当输入 X000 端接通时，T200 开始计时，经过 1s 后，其常开触点 T200 闭合，计数器 C0 开始递增计数，与此同时 T200 的常闭触点打开，T200 断电，常开触点 T200 打开，计数器 C0 仅计数一次，而后 T200 开始重新计时，如此循环……

当 C0 计数器经过 1s×20=20s 后，计数器 C0 有输出，其常开触点 C0 闭合，输出 Y000 接通。显然，输入 X000 端接通后，延时 1×20s 后输出 Y000 接通。本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
ANI     T200
OUT     T200    K100
LDI     X000
RST     C0
LD      T200
OUT     C0      K20
LD      C0
OUT   Y000
```

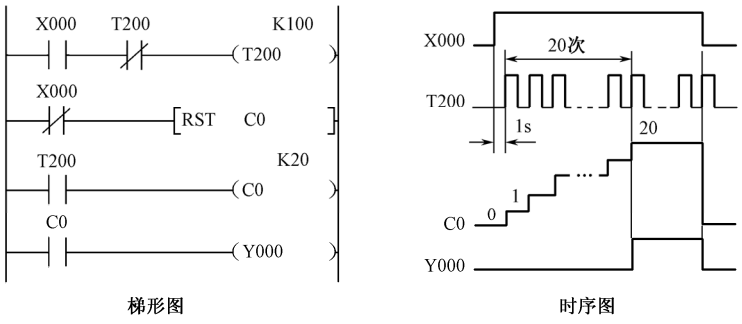


图 4-15　定时器和计数器组合实现长延时控制

实例分析

在图 4-14 所示的多个定时器组合方式实现长延时控制程序中，当输入 X000 端接通

时，T10 开始计时，经过 200s 后，其常开触点 T10 闭合，Y000 接通，同时启动 T11 开始计时，经过 1000s 后，Y001 接通。由此可见，T10 和 T11 共同延时 200s+1000s=1200s 后 Y001 接通。在图 4-15 所示的定时器计数器组合实现长延时控制程序，是 T200 定时器和 C0 计数器组合实现长延时的典型情况，T200 定时器启动 C0 计数器计数，反复循环进行，到 C0 计数达 20 次后，由 C0 常开触点闭合，输出 Y000 接通实现长延时控制。

实例 56：点动计时控制

实例说明

本实例用定时器将点动输入信号进行计时后实现设定宽度的脉冲输出。

实例实现

图 4-16 所示为点动计时控制梯形图和时序图。当输入 X000 接通时，输出继电器线圈 Y000 接通并自锁，同时接通输出继电器线圈 Y001，启动计时器 T0，1.5s 后计时器 T0 输出触点切断 Y000 和 Y001 输出。

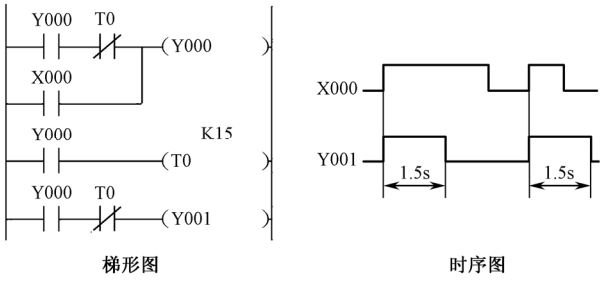


图 4-16　点动计时控制梯形图和时序图

本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      Y000
ANI     T0
OR      X000
OUT     Y000
LD      Y000
OUT     T0      K15
LD      Y000
ANI     T0
OUT     Y000
```

实例分析

用 T0 定时器将点动输入信号 X000 每次输入转换为 Y001 的间断输出，该程序可以用于设备的点动调整等控制环节。**使用点动计时控制时，需要注意输入信号接通的时间必须大于 PLC 扫描周期。**

实例 57：时钟控制

实例说明

本实例采用定时器和计数器组合方式实现时钟控制。

实例实现

图 4-17 所示为高精度时钟控制程序梯形图。秒脉冲特殊功能辅助继电器 M8012 作为 100ms 脉冲信号，与 C0 计数器共同构成秒发生器，用于计数器 C1 的计数脉冲信号。当计数器 C1 的计数累计值达到设定值 60 次时（lmin），计数器置为“1”，即 C0 的常开触点闭合，该信号将作为计数器 C1 的计数脉冲信号；计数器 C1 的另一常开触点使计数器 C1 复位（称为自复位式）后，使计数器 C1 从 0 开始重新开始计数。相似地，计数器 C2 计数到 60 次时（1h），其两个常开触点闭合，一个作为计数器 C3 的计数脉冲信号，另一个使计数器 C2 自复位，又重新开始计数；计数器 C3 计数到 24 次时（1 天），其常开触点闭合，使计数器 C3 自复位，又重新开始计数，从而实现时钟功能。输入信号 X000 联合 X001、X002、X003 用于建立期望的时钟设置，即调整秒针、分针、时针。

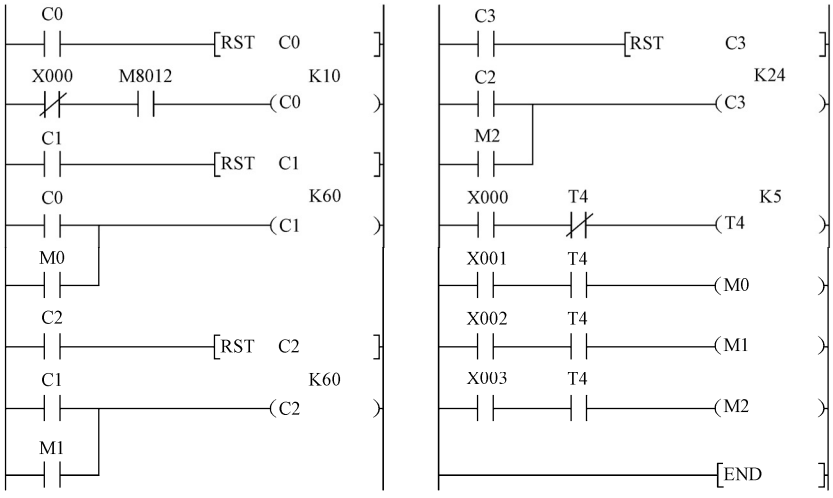


图 4-17　高精度时钟控制程序梯形图

本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      C0
RST     C0
LDI     X000
AND     M8012
OUT     C0      K10
LD      C1
RST     C1
LD      C0
```

```
OR      M0
OUT     C1      K60
LD      C2
RST     C2
LD      C1
OR      M1
OUT     C2      K60
LD      C3
RST     C3
LD      C2
OR      M2
OUT     C3      K24
LD      X000
ANI     T4
OUT     T4      K5
LD      X001
AND     T4
OUT     M0
LD      X002
AND     T4
OUT     M1
LD      X003
AND     T4
OUT     M2
END
```



实例分析

计数器串联组合实现时钟控制实现 24h（1 天）时钟控制，常称为高精度时钟控制。如果加入显示屏输出部分，就可以作为 PLC 电子时钟了。

4.2.3 脉冲触发控制

脉冲触发控制在 PLC 控制中属于常见的控制情况，可用微分操作指令或定时器实现。下面以具体实例介绍脉冲触发控制。



实例 58：用定时器实现周期脉冲触发控制



实例说明

利用定时器实现周期脉冲触发，并且可根据需要灵活改变占空比。



实例实现

图 4-18 所示为用两个定时器实现周期脉冲触发控制梯形图和时序图。当输入 X000 接

通时，输出 Y000 为脉冲序列，接通和断开交替进行。接通时间为 1s，由定时器 T10 设定；断开时间为 2s，由定时器 T11 设定。本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD    X000
ANI   T10
OUT   T11  K200
LD    T11
OUT   Y000
OUT   T10  K100
```

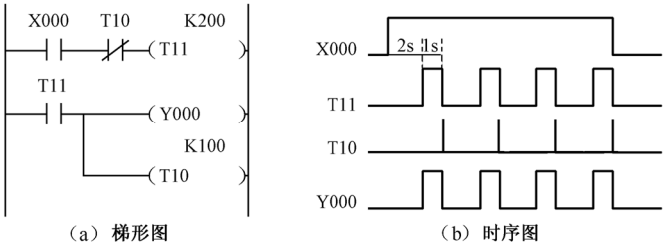


图 4-18　用两个定时器实现周期脉冲触发控制梯形图和时序图

实例分析

周期脉冲触发控制程序也叫闪烁控制程序，又称为振荡控制程序。通过改变两个定时器 T10 和 T11 的时间常数可以改变脉冲周期和占空比，非常适用于脉冲触发控制。

实例 59：用定时器实现脉宽可控的脉冲触发控制

实例说明

在输入信号宽度不规范的情况下，如果需要脉冲宽度可控的触发脉冲，如何实现呢？在实例 58 周期脉冲触发控制程序基础上，增加上升沿脉冲指令和 SET/RST 指令，结合定时器可以在输入信号宽度不规范的情况下，产生一个脉冲宽度固定的脉冲序列，该脉冲宽度通过改变定时器设定值进行调节。这种控制又称单稳态控制。

实例实现

图 4-19 所示是使用定时器产生脉宽可控的触发脉冲控制梯形图和时序图。该实例使用了上升沿脉冲指令和 SET/RST 指令，找出 Y000 的开启和关断条件，使其在 X000 的宽度大于或小于 2s 时，都可以使 Y000 的宽度为 2s。然后让定时器 T10 的计时输入逻辑在上升沿脉冲宽度小于设定脉冲宽度时，对输入脉冲宽度进行扩宽；在上升沿脉冲宽度大于设定脉冲宽度时，对输入脉冲宽度进行截取，在两个上升沿脉冲之间的距离小于设定脉冲宽度时，对后产生的上升沿脉冲置为无效。T10 在计时到后产生一个信号复位 Y000，然后自复位。本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
PLS     M0
```

```
LD      M0
SET     Y000
OUT     M1
LD      M1
OR      M2
ANI     T10
OUT     M2
OUT     T10     K20
LD      T10
RST     Y000
```

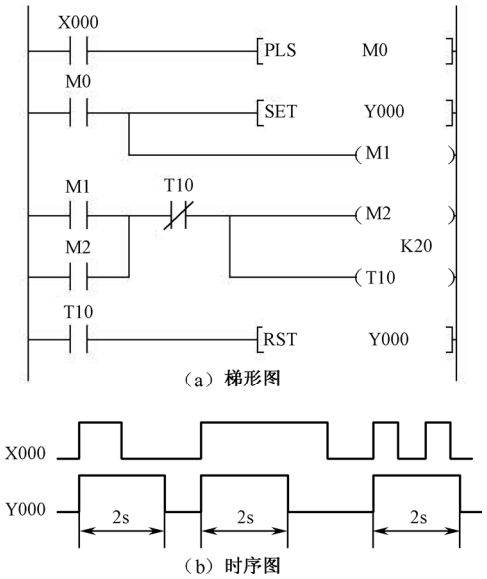


图 4-19　脉宽可控脉冲触发控制的梯形图和时序图

实例分析

本实例应用微分上升沿 PLS 指令，将 X000 的不规则输入信号转化为瞬时触发信号，通过 SET/RST 指令将 Y000 置位或复位，Y000 置位时间长短由定时器 T10 设定值的大小决定，因此 Y000 的宽度不受 X000 接通时间长短的影响。

4.2.4　分频控制

在许多控制场合，需要对控制信号进行分频。常见的有二分频、四分频控制。下面以二分频为例，介绍分频控制的实现。

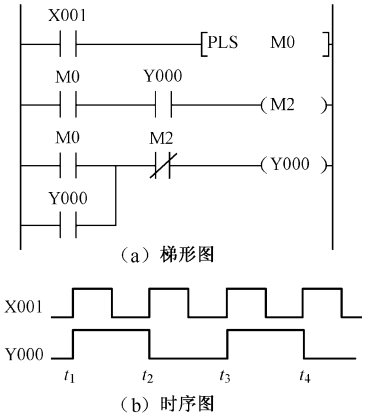
实例 60：二分频控制

实例说明

二分频控制程序将输入信号脉冲 X001 分频输出，输出脉冲 Y000 为 X001 的二分频。

实例实现

图 4-20 所示为二分频电路的梯形图和时序图。当输入 X001 在 t_1 时刻接通（ON），此时辅助继电器 M0 上将产生单脉冲。然而输出继电器 Y000 在此之前并未得电，其对应的常开触点处于断开状态。因此，扫描程序至第 2 行时，尽管 M0 得电，辅助继电器 M2 也不可能得电。扫描至第 3 行时，Y000 得电，并自锁。此后这部分程序虽多次扫描，但由于 M0 仅接通一个扫描周期，M2 不可能得电。Y000 对应的常开触点闭合，为 M2 得电做好准备。等到 t_2 时刻，输入 X001 再次接通（ON），M0 上再次产生单脉冲。因此，在扫描第 2 行时，辅助继电器 M2 条件满足得电，M2 对应的常闭触点断开。执行第 3 行程序时，输出继电器 Y000 断电，输出信号消失。以后，虽然 X001 继续存在，但由于 M0 是单脉冲信号，虽多次扫描第 3 行，输出继电器 Y000 也不可能得电。在 t_3 时刻，输入 X001 第三次出现（ON），M0 上又产生单脉冲，输出 Y000 再次接通。t_4 时刻，输出 Y000 再次断电……得到输出正好是输入信号的二分频。这种逻辑每当有控制信号时，就将状态翻转（ON→OFF→ON→OFF…），因此也可用做脉冲发生器。本例梯形图对应的语句表如下：



（a）梯形图

（b）时序图

图 4-20　二分频电路的梯形图和时序图

```
LD      X001
PLS     M0
LD      M0
AND     Y000
OUT     M2
LD      M0
OR      Y000
ANI     M2
OUT     Y000
```

实例分析

本实例梯形图程序中，用微分上升沿 PLS 指令和两个辅助继电器 M0 与 M2，将规定频率的 X001 输入信号转化为脉宽为 X001 两倍的 Y000 信号输出。

4.2.5 报警控制

报警控制主要指故障报警控制，它是电气自动控制系统中不可缺少的重要环节，也是 PLC 控制系统中的常用部分。标准的报警功能应该是声光报警。下面分别以单故障报警控制与多故障报警控制为例，介绍故障报警控制的设计思路。

实例 61：故障报警控制

实例说明

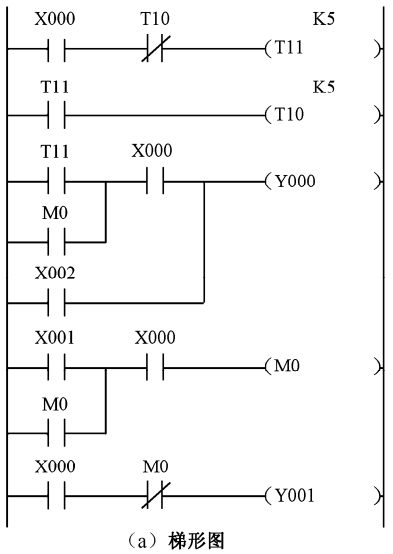
用蜂鸣器和报警灯对一个故障实现声光报警控制的报警控制，称为单故障报警控制；出现多个故障时，在声光多故障报警控制程序中，一个故障对应于一个指示灯，多个故障用一个蜂鸣器鸣响，这种故障报警控制称为多故障报警控制。

实例实现

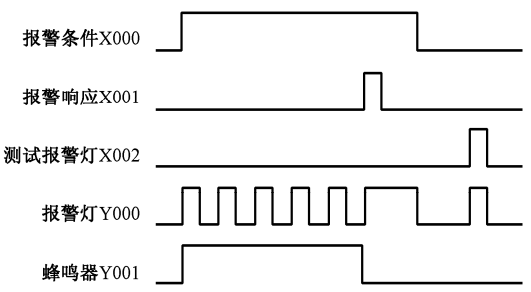
（1）单故障报警控制。图 4-21 所示单故障报警控制程序梯形图和时序图。输入端子 X000 为故障报警输入条件，即 X000 的状态为 ON 时要求报警。输出 Y000 为报警灯，Y001 为报警蜂鸣器。输入条件 X001 为报警响应。X001 接通后，Y000 报警灯从闪烁变为常亮，同时 Y001 报警蜂鸣器关闭。输入条件 X002 为报警灯的测试信号。X002 接通，则 Y000 接通。

脉冲发生器对应的语句表如下：

```
LD      X000
ANI     T10
OUT     T11     K5
LD      T11
OUT     T10     K5
```



（a）梯形图



（b）时序图

图 4-21　单故障报警控制梯形图和时序图

故障指示灯对应的语句表如下：

```
LD      T11
OR      M0
AND     X000
OR      X002
OUT     Y000
```

故障响应条件对应的语句表如下：

```
LD      X001
OR      M0
AND     X000
OUT     M0
```

故障蜂鸣器对应的语句表如下：

```
LD      X000
ANI     M0
OUT     Y001
```

（2）多故障报警控制。图 4-22 所示为两种故障标准报警控制梯形图。故障 1 用输入信号 X000 表示；故障 2 用 X001 表示；X002 为消除蜂鸣器按钮；X003 为故障指示灯、故障蜂鸣器按钮。故障 1 指示灯用信号 Y000 输出；故障 2 指示灯用信号 Y001 输出；Y003 为报警蜂鸣器输出信号。

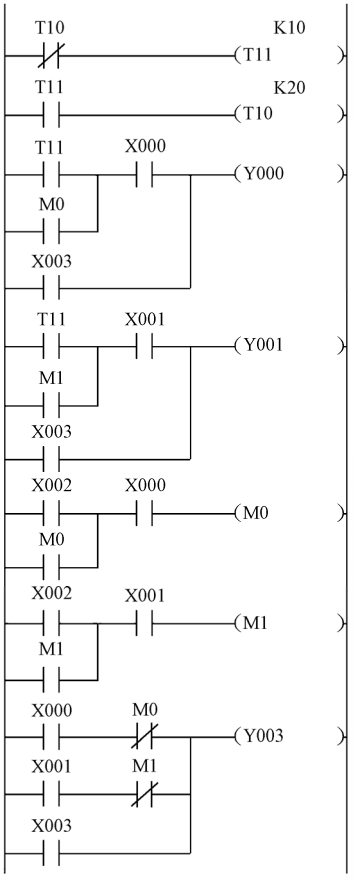


图 4-22　两种故障报警控制梯形图

脉冲发生器对应的语句表如下：

```
LDI     T10
OUT     T1      K10
LD      T11
OUT     T10     K20
```

故障指示灯 1 对应的语句表如下：

```
LD      T11
OR      M0
AND     X000
OR      X003
OUT     Y000
```

故障指示灯 2 对应的语句表如下：

```
LD      T11
OR      M1
AND     X001
OR      X003
OUT     Y001
```

故障消除蜂鸣器逻辑 1 对应的语句表如下：

```
LD      X002
OR      M0
AND     X000
OUT     M0
```

故障消除蜂鸣器逻辑 2 对应的语句表如下：

```
LD      X002
OR      M1
AND     X001
OUT     M1
```

报警蜂鸣器对应的语句表如下：

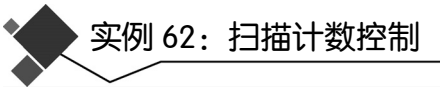
```
LD      X000
ANI     M0
LD      X001
ANI     M1
ORB
OR      X003
OUT     Y001
```



实例分析

在单故障标准报警控制梯形图程序中，定时器 T11 和定时器 T10 构成振荡控制程序，当故障报警条件 X000 接通后，每 0.5s Y000 和 Y001 通断声光报警一次，反复循环，直到报警结束。在两种故障标准报警控制梯形图程序中，关键是当任何一种故障发生时，按故障消除蜂鸣器按钮后，不能影响其他故障发生时报警蜂鸣器的正常鸣响，该程序由脉冲触发控制、故障指示灯控制、蜂鸣器逻辑控制和报警控制电路四部分组成，采用模块化设计，值得读者在实际使用时参考。照此方法可以实现更多故障报警。

4.2.6 计数控制



实例 62：扫描计数控制



实例说明

在某些场合下需要计算扫描次数，一般可采用扫描计数控制程序来实现。



实例实现

图 4-23 所示为扫描计数控制梯形图和时序图。输入 X000 接通后，辅助继电器 M0 每隔一个扫描周期接通一次，扫描周期用 *T* 表示。计数器 C0 对扫描次数进行计数，达到设定值时计数器 C0 有输出，其常开触点 C0 接通，输出继电器 Y000 启动。本例梯形图对应的语句表如下：

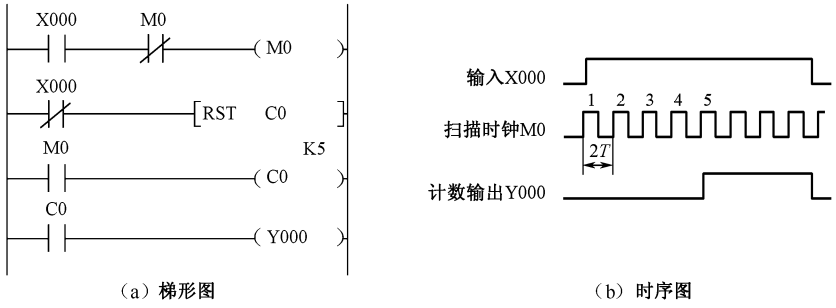
```
LD      X000
ANI     M0
OUT     M0

LDI     X000
RST     C0

LD      M0
```

```
OUT     C0      K5

LD      C100
OUT     Y000
```



（a）梯形图　　（b）时序图

图 4-23　扫描计数控制梯形图和时序图

实例分析

本程序使用辅助继电器 M0 和计数器 C0 对 PLC 内部扫描次数计数，程序简单适用，能很好地满足工程应用需要。

实例 63：6 位数计数控制

实例说明

三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的 16 位递增计数器的计数值设定范围为 K1～K32 767，32 位增减计数器的计数范围为−2 147 483 648～+2 147 483 648，计数位数不超过 5 位数。若用 32 位增减计数器，可以直接实现 6 位计数，但要用到特殊辅助继电器 M8200～M8234 设定；若用 16 位递增计数器，其计数位数不超过 5 位数，需要将 16 位计数器串联才能实现 6 位数计数。下面就 16 位计数器串联构成 6 位数加法计数器进行介绍。

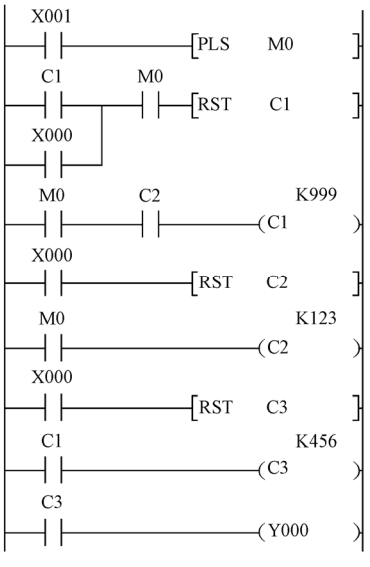


图 4-24　6 位数计数控制梯形图

实例实现

图 4-24 所示为 6 位数计数控制梯形图，其构成的 6 位数是 123 456。计数器输入脉冲 X001，复位输入脉冲 X000，当计数脉冲 X001 满 123 次后，C2 计数器的常开触点 C2 接通，C1 计数器在脉冲 X001 到来时计数，当 C1 计数器计数到 1000 次后，C3 计数器计数一次，而后 C1 再计满 1000 次后，C3 计数一次，直到 C3 计数满 456 次，即共计数满 456+123×（999+1）=123 456 次后，输出 Y000 接通。

本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X001
PLS     M0

LD      C1
OR      X000
AND     M0
RST     C1

LD      M0
AND     C2
OUT     C1      K999

LD      X000
RST     C2
LD      M0
OUT     C2      K123

LD      X000
RST     C3
LD      C1
OUT     C3      K456

LD      C3
OUT     Y000
```



实例分析

本控制程序将 C1 和 C3 计数器串联得到的计数次数，再与 C2 计数次数相加得结果。C1 计数满 1000 次后，由其常开触点 C1 与 M0 复位，构成循环计数，称为循环计数器。

4.2.7 顺序控制

顺序控制在工业控制系统中应用十分广泛。传统的控制器件继电器—接触器只能进行一些简单控制，并且整个系统十分笨重庞杂，接线复杂，故障率高，无法实现更复杂的控制。而用 PLC 进行顺序控制则变得轻松愉快，我们可以用各种不同指令，编写出形式多样、简洁清晰的控制程序。甚至一些非常复杂的控制也变得十分简单。下面介绍 3 种实用的顺序控制程序。



实例 64：用定时器实现顺序控制



实例说明

用定时器对被控对象实现顺序启/停控制。

实例实现

图 4-25 所示为用定时器编写的实现顺序控制的梯形图。当 X000 总启动开关闭合后，Y000 先接通。经过 5s 后 Y001 接通，同时将 Y000 断开。再经过 5s 后 Y002 接通，同时将 Y001 断开。又经过 5s，Y003 接通，同时将 Y002 断开。再经过 5s 又将 Y000 接通，同时将 Y003 断开。如此循环往复，实现了顺序启动/停止的控制。本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
OR      T4
OR      Y000
ANI     X001
ANI     Y001
OUT     Y000
OUT     T1      K50

LD      T1
OR      Y001
ANI     X001
ANI     Y002
OUT     Y001
OUT     T2      K50

LD      T2
OR      Y002
ANI     X001
ANI     Y003
OUT     Y002
OUT     T3      K50

LD      T3
OR      Y003
ANI     X001
ANI     Y000
OUT     Y003
OUT     T4      K50
```

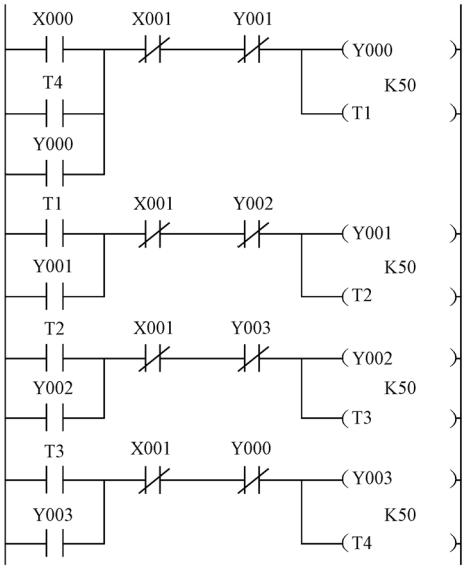


图 4-25　用定时器编写的实现顺序控制的梯形图

实例分析

从本程序的实现可以看出，用定时器实现顺序控制的实质就是运用定时器的定时与延时功能，将被控对象的启/停控制在不同的时间点上。

实例 65：用计数器实现顺序控制

实例说明

用计数器递增计数的原理，对被控对象实现顺序启/停控制。

实例实现

图 4-26 所示为用计数器实现顺序控制梯形图。若 C0 值为“4”且 X000 闭合，则 C0 复位为“0”。当 X000 第一次闭合时，C0 计数值递增为“1”。比较指令 CMP 将 C0 的当前值“1”与数值“2”比较。此时 C0 小于“2”，则 M0 的状态为 ON，Y000 接通。第二次闭合时，C0 的当前值“2”，此时 C0 等于“2”，则 M1 的状态为 ON，Y001 接通。第三次闭合时，C0 的当前值“3”，此时 C0 大于“2”，则 M2 的状态为 ON，Y002 接通。第四次闭合时，C0 计数值为“4”，Y003 接通，同时将计数器复位，又开始下一轮计数。如此往复，实现了顺序控制。这里 X000 既可以是手动开关，也可以是内部定时时钟脉冲，后者可实现自动循环控制。程序中使用比较指令 CMP，将 C0 当前计数值与常数“2”比较，接通相应的辅助继电器与输出继电器，当 C0 计数值为“4”时，Y003 接通输出继电器。所以每一个输出只接通一次，并且当下一输出接通时上一输出即断开。本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD    C0
AND   X000
RST   C0
LD    X000
OUT   C0   K4
LD    X000
CMP   K2   C0   M0
LD    M0
OUT   Y000
LD    M1
OUT   Y001
LD    M2
OUT   Y002
LD    C0
OUT   Y004
```

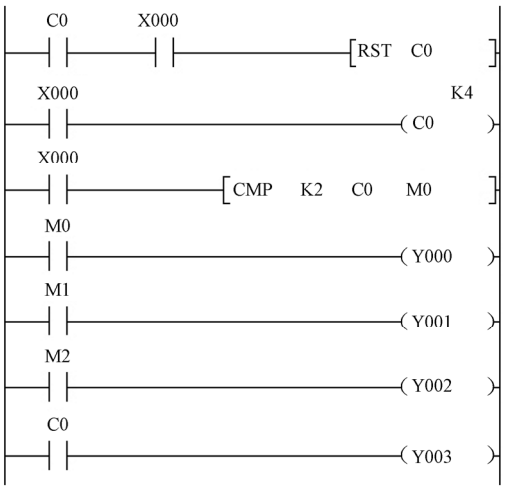


图 4-26　用计数器实现顺序控制梯形图

实例分析

本程序利用增 1 计数器 C0 进行计数，由控制触点 X000 闭合的次数驱动计数器计数，结合比较 CMP 指令（也可以用 AND＞、AND≥、AND＜等指令），将计数器的计数过程中间值与给定值比较，确定被控对象在不同时间点上的启/停，从而实现控制各输出接通的顺序。

实例 66：用移位指令实现顺序控制

实例说明

用移位指令将移位数据存储单元中的数据位移动，当某数据位为“1”时，利用该位启动其后的输出，对被控对象实现顺序启/停控制。

实例实现

图 4-27 所示为用左移移位指令编写的顺序控制梯形图。该程序利用一个开关触点 X000 实现对输出继电器 Y000、Y001、Y002 和 Y003 的顺序控制。X000 为移位脉冲控制触点，X000 每闭合一次，移位寄存区（M0、M1、M2、M3）左移一位。当（M0、M1、M2、M3）初始值为 0 时，M10 置位为 1，即 M10 为 1。当 X001 第一次闭合时将 M10 移入 M0，M0 为 1，此时输出 Y000 被接通。当 X000 第二次闭合时将 M0 移入 M1，此时 M1 为 1，使输出 Y001 被接通，同时“M0”断开。此后 X001 每闭合一次，则寄存区（M0、M1、M2、M3）左移一位。当 X000 第三次闭合时，Y003 被接通。当 X000 第四次闭合时，M11 为 1，Y003 被接通，同时将移位寄存区（M0、M1、M2、M3）各位复位。于是又开始新一轮循环，如此实现了将各输出顺序接通与断开。

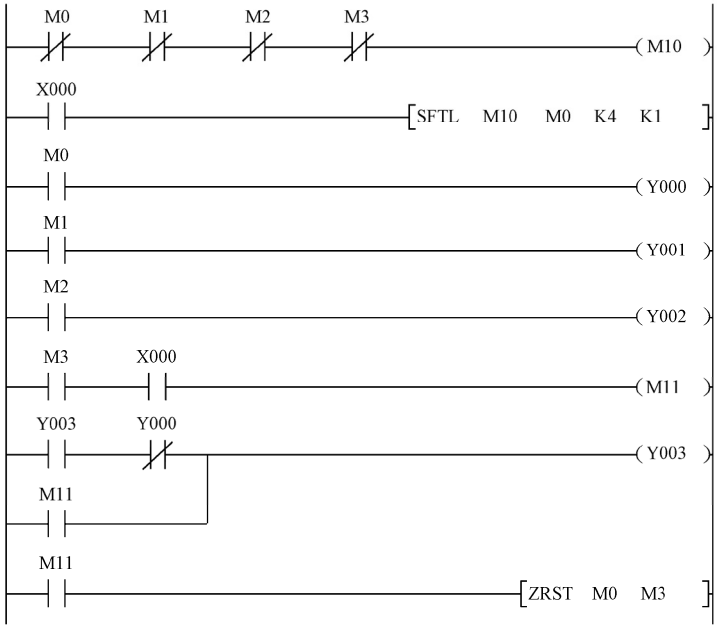


图 4-27　用左移移位指令编写的顺序控制梯形图

本例梯形图对应的语句表如下：

```
LDI     M0
LDI     M1
LDI     M2
LDI     M3
OUT     M10

LD      X000
SFTL    M10     M0      K4      K1

LD      M0
OUT     Y000

LD      M1
OUT     Y001

LD      M2
OUT     Y002

LD      M3
AND     X000
OUT     M11

LD      Y0003
ANI     X000
OR      M11
OUT     M11

LD      M11
ZRST    M0      M3
```



实例分析

本程序用左移位指令将移位寄存区的数据位左移，利用左移位指令启动其后的输出，确定被控对象在不同时间点上的启/停。

除了上面介绍的顺序控制方法外，还有其他方法，如顺序控制功能指令，读者可根据上面的介绍，自行开发出更多更好的控制程序。

4.2.8 循环控制

循环控制也是 PLC 控制程序的常见情况，如循环计数控制、周期连续进行的顺序控制等均属循环控制范畴，属基本控制程序。下面以彩灯闪亮控制为例介绍循环控制实现的方法。



实例 67：彩灯闪亮循环控制



实例说明

PLC 实现彩灯闪亮控制，具有结构简单、变换形式多样、价格低的特点，应用广泛。彩

灯控制变换形式主要有 3 种：长通类、变换类和流水类。长通类是指彩灯用于照明或衬托底色，一旦彩灯接通，将长时间亮，没有闪烁；变换类是指彩灯可被定时控制，彩灯时亮时灭，形成需要的各种变换，如字形变换、色彩变换、位置变换等，其特点是定时通断，频率不高；流水类是指彩灯变换速度快，犹如行云流水、星光闪烁，其特点虽也是定时通断，但频率较高。对于长通类亮灯，控制简单，只需一次接通或断开，属一般控制；对于变换类和流水类闪亮，则要按预定节拍产生一个“环形分配器”，这个环形分配器控制彩灯按预设频率和花样变换闪亮。

实例实现

图 4-28 所示为彩灯闪亮循环控制梯形图。该程序控制 A、B、C 三盏彩灯，工作时，启动旋转开关（X000 接通），PLS 指令将 M10 仅闭合一个扫描周期，用于启动时复位各计数器，A 灯（Y001）开始亮。定时器 T37 与辅助继电器 M20 构成彩灯循环闪亮的环形脉冲分配器（其脉冲宽度等于程序扫描周期时间+5s 定时时间），其分配脉冲用于每 5s 将 C1～C4 计数一次，实现 B 灯（Y002）、C 灯（Y003）依次点亮，当 C4 计数值到时，将最后一个 C 灯熄灭，同时复位各计数器开始下一个循环，彩灯按 A→B→C 顺序循环往复。M8002 控制 PLC 加电时闭合一个扫描周期，当旋转开关断开（X000 断开）时，C1、C2、C3、C4 的计数值不定，其状态也不定，但三盏灯将熄灭。

本例梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
PLS     M10

LD      X000
ANI     M20
OUT     T37     K50

LD      M8002
OR      M10
OR      C4
OUT     M30

LD      M30
RST     C1
RST     C2
RST     C3
RST     C4

LD      M20
OUT     C1      K1
OUT     C2      K2
OUT     C3      K3
OUT     C4      K4
```

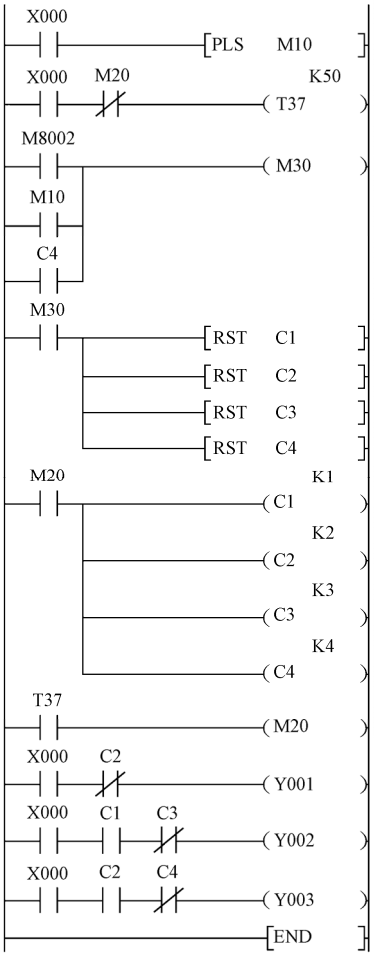


图 4-28　彩灯闪亮循环控制梯形图

```
LD      T37
OUT     M20

LD      X000
ANI     C2
OUT     Y001

LD      X000
ANI     C1
ANI     C3
OUT     Y002

LD      X000
ANI     C2
ANI     C4
OUT     Y003
END
```



实例分析

本程序用定时器 T37 与 M20 构成彩灯循环闪亮的环形脉冲分配器，控制彩灯循环闪亮，属于变换类和流水类彩灯闪亮控制。

4.3 常用电动机控制



电动机控制是工业生产控制中的重要组成部分。随着信息技术的发展，可编程控制器在工业控制中广泛使用，应用 PLC 代替传统的继电器—接触器控制电动机已是必然趋势。下面介绍三相异步电动机、直流电动机、伺服电动机和步进电动机的 PLC 控制程序，它们是常用的典型控制程序之一。

4.3.1 三相异步电动机

三相异步电动机是以交流电为驱动电源的电动机，其具有结构简单、运行可靠、维护容易和较好的稳态与动态特性，在现代工业控制中被广泛使用。



实例 68：电动机双重锁正、反转控制



实例说明

所谓双重锁，就是正、反转启动按钮的常闭触点互相串接在对方的控制回路中，而正、反转接触器的常闭触点也互相串接在对方的控制回路中，从而起到按钮和接触器双重连锁的控制作用。图 4-29 所示是电动机正、反转继电控制电路图（主控制电路省略）。当按下电动机正转启动按钮 SB2 时，电动机正转启动并连续运转；当按下电动机反转启动按钮 SB3 时，

电动机反转启动并连续运转；当按下按钮 SB1 时，电动机停止运转。按钮 SB2、SB3 和接触器 KM0、KM1 的辅助触点分别串接在对方控制回路中，即实现双重锁。当接触器 KM0 通电闭合时，接触器 KM1 不能通电；反之，当接触器 KM1 通电闭合时，接触器 KM0 不能通电；KM0、KM1 的辅助触点还实现自锁、互锁。电动机正、反转控制是工程控制中的典型环节，对于一个 PLC 控制系统开发人员来说，是必须熟练掌握和应用的重要内容。

实例实现

（1）首先确定 I/O 端子数。SB1、SB2、SB3 三个外部按钮是 PLC 的输入变量，须接在三个输入端子上，可分配为 X0、X1、X2；输出只有两个继电器 KM0、KM1，它们是 PLC 的输出端需控制的设备，要占用两个输出端子，可分配为 Y0、Y1。故整个系统需要用五个 I/O 端子：三个输入端子和两个输出端子。

下面列出 I/O 分配表：

输入端子	SB1——X0	输出端子	KM0——Y0
	SB2——X1		KM1——Y1
	SB3——X2		

对于用于自锁、互锁的那些触点，因无须占用外部接线端子而由内部“软开关”代替，故不占用 I/O 端子。

（2）实际外部接线方法。图 4-30 所示是 PLC 和外围设备的外部接线图。图中，X0、X1、X2 共用一个“COM”端；Y0、Y1 共用一个“COM”端。直流电源由 PLC 供给，这时可直接将 PLC 电源端子接在开关上，而交流电源则是由外部交流 220V 电源供给的。

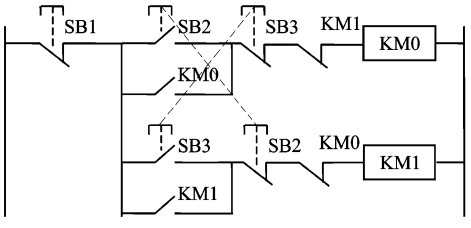


图 4-29　电动机正、反转继电控制电路图

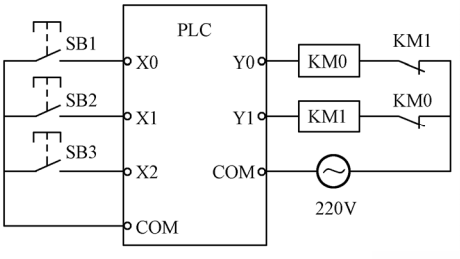
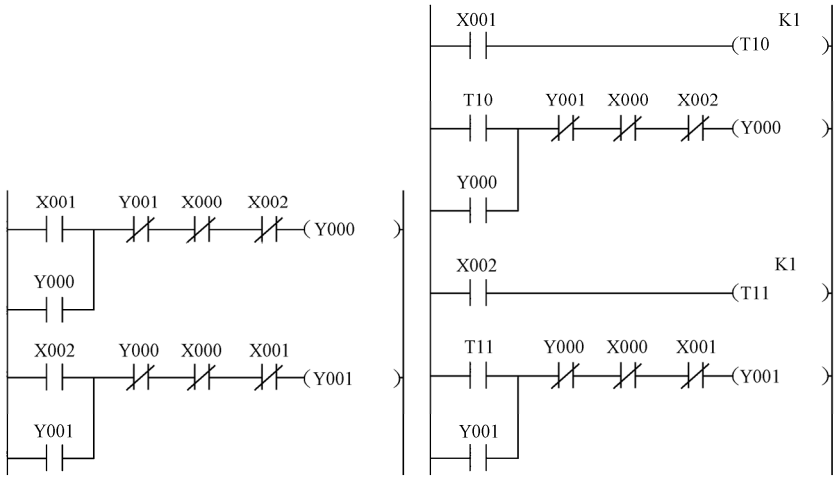


图 4-30　PLC 和外围设备的外部接线图

（3）画梯形图。在图 4-31 所示的梯形图中，X000、X001 和 X002 分别表示停止、正转和反转控制触点；Y000 和 Y001 分别表示电动机正转和反转输出继电器。为了保证正、反转接触器 KM0 和 KM1 不会同时接通，图 4-31（a）所示梯形图中采用按钮互锁（正转 X001 的常闭触点串入反转控制回路，反转 X002 的常闭触点串入正转控制回路）和输出继电器触点互锁（正转输出继电器 Y000 的常闭触点串入反转控制回路，反转输出继电器 Y001 的常闭触点串入正转控制回路），保证 Y000 和 Y001 不会同时接通，属于双互锁保险型。

但是，图 4-31（a）所示的梯形图仍然存在安全隐患。实际上，接触器通断变化的时间是极短的。如果电动机正转，Y000 及其相连的正转接触器接通。此时按反转按钮 SB3，X002 触点动作使 Y000 断开，Y001 接通，PLC 的输出继电器向外发出通断命令，正转接触器断开其主触点，电弧尚未熄灭时，反转接触器主触点已接通，将造成电源瞬时短路。为了避免这种情况发生，在图 4-31（b）所示的梯形图程序基础上增加了两个定时器 T10 和

T11，进行正、反转切换时，被切断的接触器是瞬时动作的，而被接通的接触器要延时一段时间才动作，避免了电源瞬时短路。



（a）互锁控制梯形图　　（b）改进控制后的梯形图

图 4-31　电动机正、反转控制梯形图

实例分析

本实例运用了自锁、互锁等基本控制程序，实现常用的电动机正、反转控制。因此，可以说基本控制程序是大型和复杂程序的基础。设计实际工程程序时，必须以控制过程的可靠性为重，使控制程序变得相对复杂。本程序就重点考虑了接触器动作时是否导致电源瞬时短路而降低系统可靠性情况。

实例 69：电动机Y—△减压启动控制

实例说明

电动机Y—△减压启动控制是异步电动机启动控制中的典型控制环节，属于常用控制小系统。

实例实现

下面就其控制系统程序设计原理和思路予以介绍。

（1）首先确定 I/O 端子数。电动机Y—△减压启动继电控制线路图如图 4-32 所示。SB1 和 SB2 外部按钮是 PLC 的输入变量，KM1、KM2、KM3 是 PLC 的输出变量，列出 I/O 分配表如下：

输入端子	停止按钮 SB1——X0	输出端子	KM1——Y1
	启动按钮 SB2——X1		KM2——Y2
			KM3——Y3

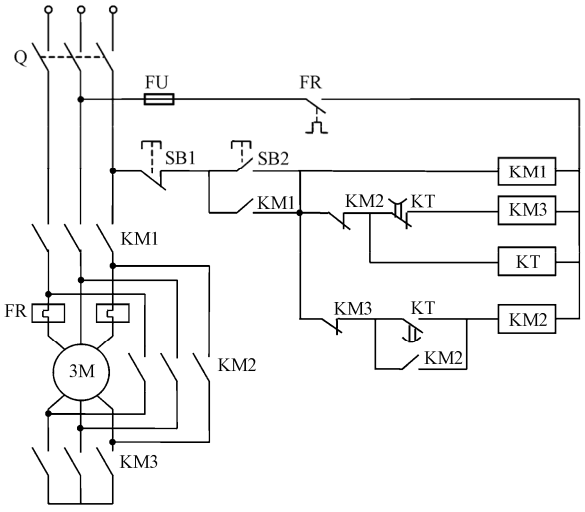


图 4-32　电动机Y—△减压启动继电控制线路图

（2）PLC 与外部器件的接线。控制接线图如图 4-33 所示。电动机由接触器 KM1、KM2、KM3 控制。其中，KM3 将电动机定子绕组连接成星形（Y）；KM2 将电动机定子绕组连接成三角形（△）。KM2 与 KM3 不能同时吸合；否则，将产生电源短路故障。在程序设计过程中，应充分考虑由星形向三角形切换的时间，即由 KM3 完全断开（包括灭弧时间）到 KM2 接通这段时间应互锁住，以防电源短路。

（3）梯形图程序。电动机Y—△减压启动控制梯形图如图 4-34 所示，两个控制程序功能相同。下面就其控制原理进行介绍。

在图 4-34（a）所示梯形图中，启动时，按下 SB2，X001 常开触点闭合。此时 M1 接通，定时器 T10 和 T11 接通，Y003 也接通，KM3 接触器通电。T11 定时 1s 后，Y001 接通，KM1 接触器通电。此时，电动机进入星形（Y）降压启动。星形（Y）降压启动 5s 后，定时器 T10 已定时 6s 了，KM3 接触器断电，定时器 T12 开始计时。计时 0.5s 后，Y002 接通，KM2 通电，KM1 接触器已通电。此时电动机进入三角形（△）连接，处于正常工作状态。按下 SB1，M1 断电，电动机停止运行。

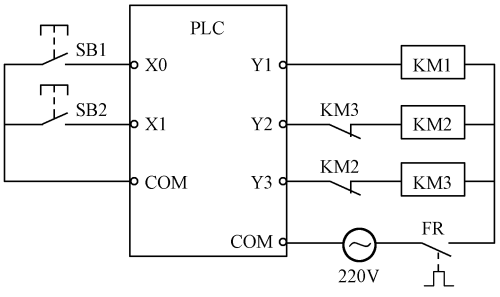


图 4-33　电动机Y—△减压启动控制接线图

在图 4-34（b）所示的梯形图中，启动时，按下 SB2，X001 常开闭合。此时 M0 接通，定时器接通，Y001、Y003 也接通，KM1、KM3 接触器通电，电动机进入星形（Y）降压启动。延时 5s 后，定时器 T0 动作，其常闭触点断开，使 Y001、Y003 断开，KM1、KM2 断电。T0 的常开

触点闭合，接通定时器 T1，延时 1s 后，T1 动作，Y001、Y002 接通，KM1、KM2 接通，电动机采用三角形（△）连接，进入正常工作。按下 SB1，M0 断电，电动机停止运行。

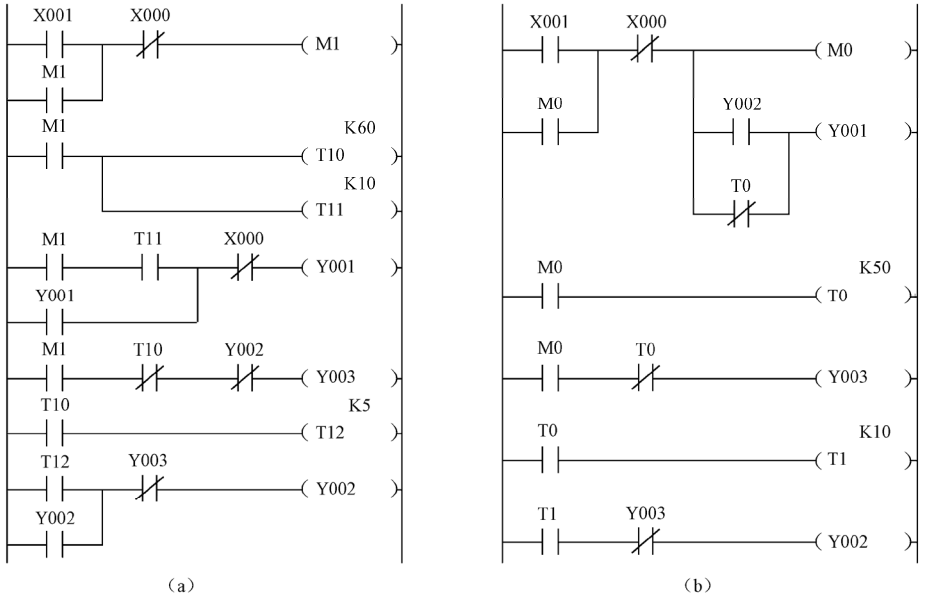


图 4-34　电动机Y—△减压启动控制梯形图

实例分析

电动机Y—△减压启动属于常用控制系统，在 4-34（a）所示程序中，使用 T10、T11、T12 定时器将电动机的星形（Y）减压启动到三角形（△）全压运行过程进行控制，在 Y002 和 Y003 两继电器梯级中，分别加入互锁触点 Y003 与 Y002，保证 KM2 和 KM3 不能同时通电。此外，定时器 T12 定时 0.5s，目的是 KM3 接触器断电灭弧，避免了电源瞬时短路。在 4-34（b）程序中，使用 T0 定时器，将 KM1 和 KM2 同时通电，电动机星形（Y）减压启动 5s，而后将 KM1 断电，使用 T1 定时器，将 KM3 通电后，再让 KM1 通电，同样避免了电源瞬时短路。两控制程序均实现了电动机启动到平稳运行。读者可根据控制的实际情况，开发出更好更优的控制程序。双速电动机启动运行控制程序设计思路与Y—△减压启动基本相同，这里不再赘述。

实例 70：电动机串电阻启动控制

实例说明

电动机串电阻启动控制属于电动机控制中的常见情况。电动机串电阻启动控制程序说明了鼠笼式三相感应异步电动机串电阻自动启动过程。通过这种启动控制，保证电动机首先减速启动，一定时间段后达到额定转速。

实例实现

电动机的软启动控制系统由 PLC I/O 分配、接线及控制程序 3 部分组成。

（1）I/O 分配，输入端子如下：

- X0：启动按钮，接外部按钮常开触点，启动电动机
- X1：停止按钮，接外部按钮常闭触点，停止电动机
- X2：急停按钮，接外部按钮常闭触点，急停电动机
- X3：热继电器保护触点，接热继电器动断触点（热继电器没动作时闭合）

输出端子如下：

- Y0：控制外部电动机主继电器线圈
- Y1：控制外部串联电阻用继电器线圈
- Y2：控制外部全压启动继电器线圈

（2）PLC 接线图。PLC 电动机控制外部接线图如图 4-35 所示。启动按钮接在输入端 X0，启动按钮状态为 ON 时实现电动机软启动。停止按钮接在输入端 X1，停止按钮断开时，电动机停止。急停按钮接在输入端 X2，急停按钮断开时，电动机停止。电动机电路热继电器（断路器）接在输入端 X3，当电动机过载时电动机电路热继电器（断路器）断开，电动机停止。在机电设备控制电路设计中，停止按钮、急停按钮或其他保护类元件（如热继器）一般选用动断（常闭）触点，这是因为动合（常开）触点型按钮的动合（常开）触点从断开到闭合有一小段距离，需要时间；而动断（常闭）触点型按钮的动断触点从闭合到断开也有一小段距离，但这一小段距离要比动合（常开）触点型按钮断开行程距离短。因此，动合（常开）触点型按钮从断开到闭合需要时间比动断（常闭）触点型按钮从闭合到断开长，即按钮常闭触点断开比常开触点闭合快，工程中可能避免停机过慢而酿成大祸。此外，按钮或其他保护类元件的控制触点接在大电流电路中，在这些连接点处电流较大，容易粘连（电流烧焦触点粘连触点）。如果常开触点闭合时粘连，松开按钮时触点无法弹起复位，将使设备无法停止而酿成大祸。如果是常闭触点，粘连后，在外力作用下容易断开，避免事故发生。因此，在工程中对停机按钮或保护类元件最好选用或设计为动断（常闭）型触点。为了更加保险，在电路设计中，还要加上大蘑菇头的红色急停按钮，红色显眼，大蘑菇头突出，明显高于其他按钮，在紧急状态时，操作者很容易及时操作急停按钮，保证机电设备与人身的安全，减少事故发生，也减少设计者的责任。

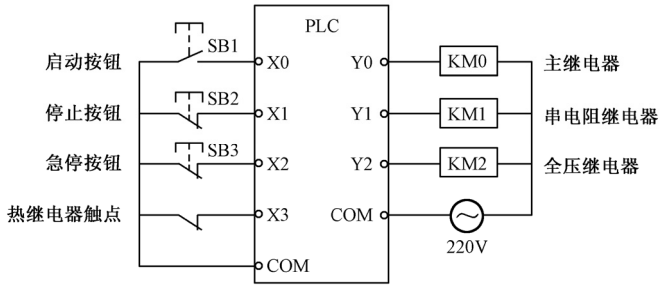
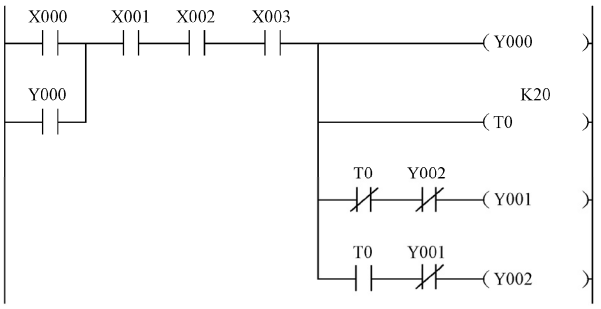
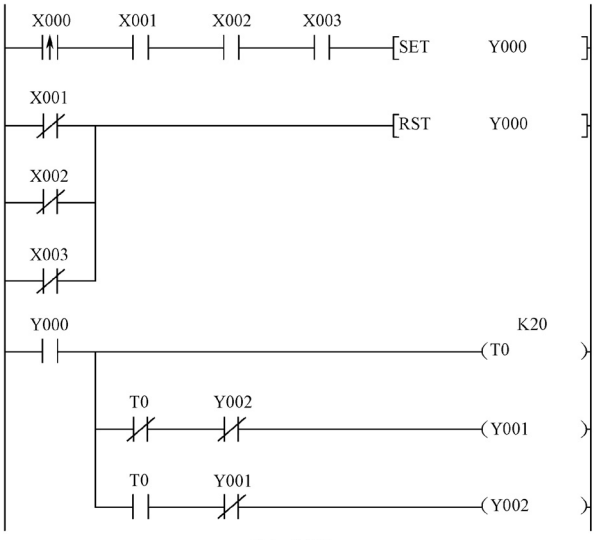


图 4-35　PLC 电动机控制外部接线图

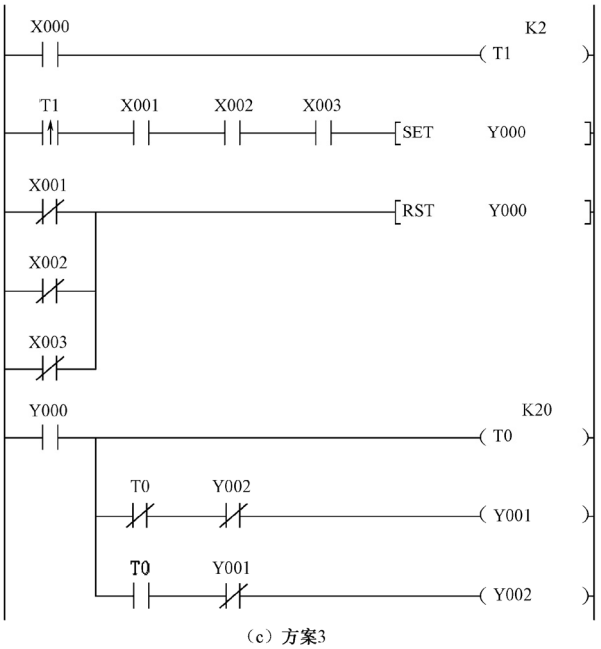
（3）梯形图程序。如图 4-36 所示，按下启动按钮 X000，Y000、Y001 闭合输出控制外部接触器，电动机串电阻启动开始，启动 2s 后，T0 得电吸合，断开 Y001，接通 Y002，电动机全压运行。在运行过程中，按下停止或急停按钮，或者热继电器因电动机电流过大而动作，都将立刻使电动机停止运转。



（a）方案1



（b）方案2



（c）方案3

图 4-36　电动机串电阻启动控制梯形图



实例分析

从程序步数来看，图 4-36（a）所示程序比图 4-36（b）、（c）所示程序步数少，程序执行时间短，效率高。但从安全角度来讲，在图 4-36（a）所示程序中，当 X000 闭合，电动机启动，并且 X001、X002、X003 中一个断开时，Y000、Y001、Y002 都断开，电动机停止运行。只有 X000 再一次闭合，电动机才重新启动，这是正常情况。但如果 X000 外接的按钮出问题了，它变成常闭了呢？由于 X001、X002、X003 接的是常闭触点型按钮，当按下 X000 时，电动机停止，当抬起手后，X000 又接通，电动机又将启动，不安全。图 4-36（b）所示程序中，X000 采用上升沿指令，不管 X000 闭合多长时间，它只执行一个扫描周期，将 Y000 置位，实现电动机串电阻启动；当 X001、X002、X003 断开，RST 复位 Y000，电动机停止，只有 X000 再次闭合，Y000 才能置位，电动机启动，运行非常安全。但是如果因干扰而使 X000 闭合，也将启动电动机，可能就有危险了。在图 4-36（b）所示程序基础上再次改进，设计为图 4-36（c）所示程序，让 X000 闭合，使 T1 得电，用上升沿指令 T1 在定时 200ms 后启动电动机就可以避免干扰（干扰信号一般不会保持 200ms 的时间）的影响。电动机定子串电阻软启动、延边三角形减压启动运行控制程序设计思路与电动机串电阻启动控制设计思路基本相同，这里也不再赘述。这种以安全第一思想设计程序，既避免了因干扰误操作导致误动作，又安全适用，是工程设计中必须注意的地方，非常值得借鉴。**本书中有些程序只是从控制实现原理方面阐述，需要修改后才能用于工程实际中。**

4.3.2 直流电动机控制

直流电动机是驱动电源为直流电，并将电能转换为机械能的旋转机械。直流电动机的电势波形较好，对电磁干扰的影响小；直流电动机的调速范围宽广，调速特性平滑；直流电动机过载能力较强，热动和制动转矩较大，作为驱动元件，被广泛应用于各种驱动控制系统中。直流电动机按励磁绕组供电方式可分为他励直流电动机、并励直流电动机、串励直流电动机和复励直流电动机 4 类。他励直流电动机：励磁绕组由其他直流电源单独供电；并励直流电动机：励磁绕组与电枢绕组并联，电枢电压即励磁电压；串励直流电动机：励磁绕组与电枢绕组串联，电枢电流即励磁电流；复励直流电动机：励磁绕组一部分与电枢绕组串联，另一部分与电枢绕组并联。下面以并励、串励直流电动机正、反转的 PLC 控制为例，介绍它们的控制方法，其他控制方式相类似。



实例 71：并励、串励直流电动机正、反转控制



实例说明

并励、串励直流电动机正、反转控制的继电器电路原理图略有差别，但它们的 PLC 控制系统完全相同。

并励直流电动机正、反转控制电路原理图如图 4-37 所示。当合上电源总开关 QS 时，断电延时时间继电器 KT 通电闭合，欠电流继电器 KA 通电闭合。按下直流电动机正转启动按钮 SBl，接触器 KMl 通电闭合，断电延时时间继电器 KT 断电开始计时，直流电动机 M 串电阻 R 启动运转。经过一定时间，时间继电器 KT 通电瞬时断开，断电延时常闭触点闭合，接通接触器 KM3

线圈电源，接触器 KM3 通电闭合，切除串电阻 R，直流电动机 M 全压全速正转运行。

同理，按下直流电动机 M 反转启动按钮 SB2，接触器 KM2 通电闭合，断电延时时间继电器 KT 断电开始计时，直流电动机 M 串电阻 R 启动运转。经过一定时间，时间继电器 KT 通电瞬时断开，断电延时常闭触点闭合，接通接触器 KM3 线圈电源，接触器 KM3 通电闭合，切除串电阻 R，直流电动机 M 全压全速反转运行。

直流电动机 M 在运行中，如果励磁线圈 WE 中的励磁电流不够，欠电流继电器欠电流释放，其 1 号线与 3 号线间的常开触点断开，直流电动机 M 停止运行。

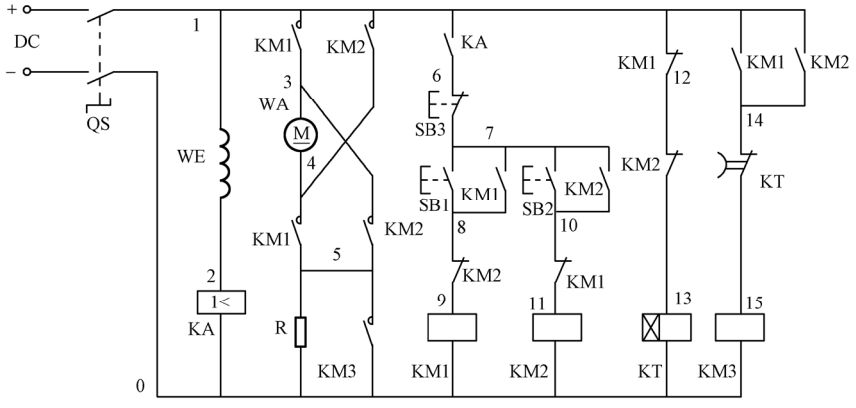


图 4-37　并励直流电动机正、反转控制电路原理图

接触器—继电器串励直流电动机正、反转控制电路原理图如图 4-38 所示。按下直流电动机正转启动按钮 SB1 时，接触器 KM1 通电闭合，直流电动机串电阻 R 正向启动运转。经过一定时间，接触器 KM3 通电闭合，切除电阻 R，直流电动机全速全压正转运行。当按下直流电动机反转启动按钮 SB2 时，接触器 KM2 通电闭合，直流电动机串电阻 R 反向运转。经过一定时间，接触器 KM3 闭合，切除电阻 R，直流电动机全压全速反转运行。

实例实现

虽然并励、串励直流电动机正、反转继电器控制电路原理图不同，但分析其 PLC 启动控制输入/输出端子及外部接线图、PLC 控制梯形图程序完全相同，因此下面将串励直流电动机正、反转控制 PLC 控制合并处理。

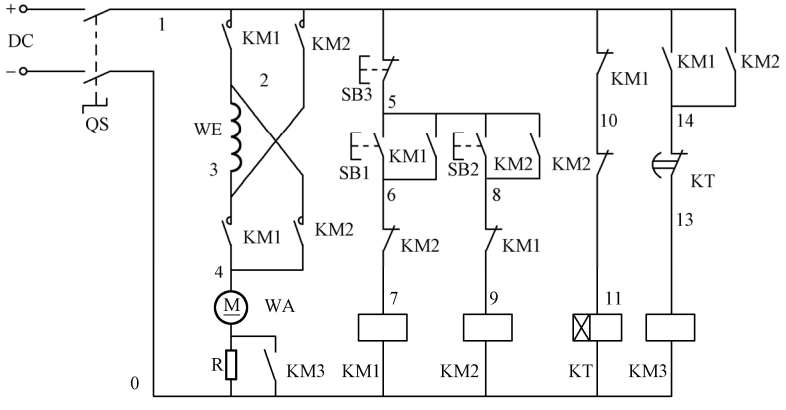


图 4-38　接触器—继电器串励直流电动机正、反转控制电路原理图

（1）根据控制要求，列出 PLC 控制的输入/输出端子分配表并画出 PLC 控制接线图。并励、串励直流电动机正、反转控制 PLC 的输入/输出端子分配表分别如表 4-1 和表 4-2 所示，控制接线图分别如图 4-39（a）、（b）所示。为保证 PLC 输出端子电流过载和直流电动机运转可靠性，在 PLC 外部输出继电器 KM1、KM2 和 KM3 两端均并联二极管（VD），起断电泄流作用。

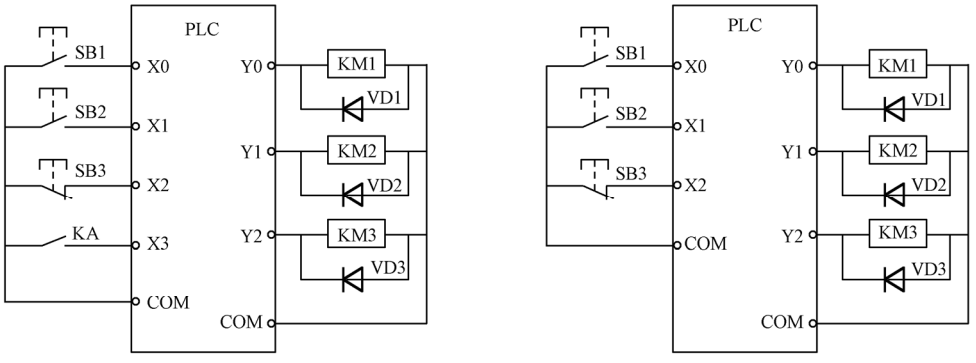
表 4-1　并励直流电动机正、反转控制 PLC 的输入/输出端子分配表

输 入 端 子			输 出 端 子		
名称	代号	端子编号	名称	代号	端子编号
正转启动按钮	SB1	X0	正转接触器	KM1	Y0
反转启动按钮	SB2	X1	反转接触器	KM2	Y1
停止按钮	SB3	X2	串电阻 R 切除接触器	KM3	Y2
欠电流继电器保护常开触点	KA	X3			

表 4-2　串励直流电动机正、反转控制 PLC 的输入/输出端子分配表

输 入 端 子			输 出 端 子		
名称	代号	端子编号	名称	代号	端子编号
正转启动按钮	SB1	X0	正转接触器	KM1	Y0
反转启动按钮	SB2	X1	反转接触器	KM2	Y1
停止按钮	SB3	X2	串电阻 R 切除接触器	KM3	Y2

（2）并励直流电动机正、反转控制梯形图如图 4-40 所示。当按下按钮 SB1 时，X000 闭合，X002 外接按钮触点常闭，则 X002 常开触点已处于得电闭合状态，而欠电流继电器 KA 在正常电流情况下是闭合的，即 X003 得电闭合，Y000 得电，Y000 常开触点闭合自锁，并励直流电动机正转启动，启动 8s 后，切除 R 电阻继续启动到正常运转。当按下按钮 SB1 时，电动机停转。当按下按钮 SB2 时，与正转时相同，Y001 得电，Y001 常开触点闭合自锁，并励直流电动机反转启动，启动 8s 后，切除 R 电阻继续启动到正常运转。当按下按钮 SB3 时，电动机停转。常闭触点 Y000、Y001 为互锁触点。对于串励直流电动机，正、反转控制梯形图与并励相同，只是少了 X003 触点，在此不再赘述。



（a）并励直流电动机接线图　　（b）串励直流电动机接线图

图 4-39　并励、串励直流电动机 PLC 控制接线图

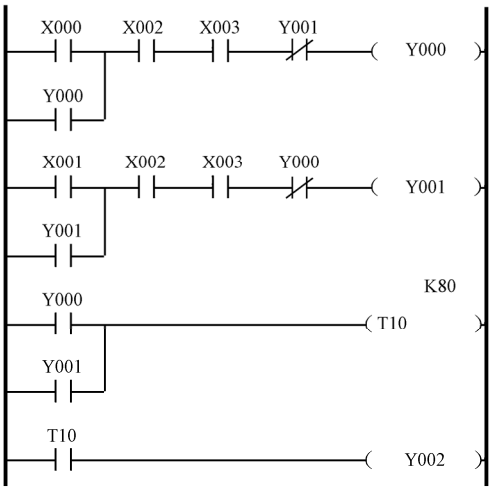


图 4-40　并励直流电动机正、反转控制梯形图

图 4-40 所示梯形图对应的语句表如下：

```
LD      X000
OR      Y000
AND     X002
AND     X003
ANI     Y001
OUT     Y000

LD      X001
OR      Y001
AND     X002
AND     X003
ANI     Y000
OUT     Y001

LD      Y000
OR      Y001
OUT     T10     K80

LD      T10
OUT     Y002
```

实例分析

直流电动机正、反转控制与三相交流电动机正、反转控制原理基本相同。但直流电动机正、反转控制的 PLC 外部接线使用了泄流二极管，对 PLC 输出端子起保护作用；三相异步交流电动机正、反转控制的 PLC 输出端子是交流电，可以不使用泄流二极管。控制程序设计思想基本一致，此处采用最简单的设计程序，**工程应用时还需要适当修改。**此外，并励、串励直流电动机正、反转控制时有电流要求，若电流不够，将无法启动。

4.3.3 同步电动机控制

由于同步电动机本身无启动转矩，因此需要借助外力启动。同步电动机常用的启动方法为异步启动法，即首先在同步电动机的定子绕组中加入三相交流电源异步启动；待电动机的转速接近同步转速的 95%以上时，切除交流电源，给转子励磁绕组加入励磁直流电压，电动机进入同步转速运行。

实例 72：同步电动机启动控制

实例说明

同步电动机启动控制电路原理图如图 4-41 所示。合上电源总开关 QFl 和 QF2，按下同步电动机启动按钮 SB2，接触器 KM1、电流继电器 KA 通电闭合，同步电动机串电阻 R1 启动运转。经过一定时间，接触器 KM3 通电闭合，切除串电阻 R1 继续启动运转。又经过一定时间，接触器 KM4 通电闭合，同步电动机投入励磁，启动结束。

在图 4-41 中，接触器 KM2、欠电压继电器 KV 组成强励磁系统，即当同步电动机在运行过程中，若电网电压过低，则欠电压继电器 KV 释放，接触器 KM2 通电闭合，电位器 RP 短接，直流发电动机输出电压增大，同步电动机的励磁电流增大，从而可保证同步电动机在电网电压低的情况下正常运转。

实例实现

（1）列出同步电动机启动控制电路 PLC 的输入/输出端子分配表，如表 4-3 所示，并画出 PLC 控制接线图，如图 4-42 所示。

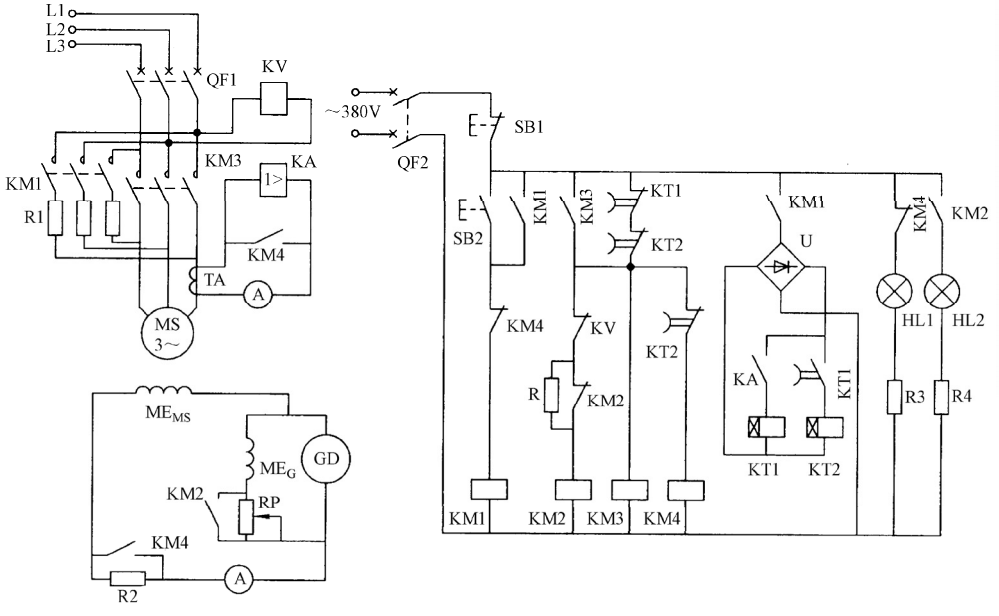


图 4-41　同步电动机启动控制电路原理图

表 4-3　同步电动机启动控制电路 PLC 的输入/输出端子分配表

输 入 端 子			输 出 端 子		
名称	代号	端子编号	名称	代号	端子编号
启动按钮	SB2	X0	串电阻 R1 启动接触器	KM1	Y0
停止按钮	SB1	X1	强励磁接触器	KM2	Y1
电流继电器	KA	X2	运行接触器	KM3	Y2
欠电压继电器	KV	X3	励磁接触器	KM4	Y3

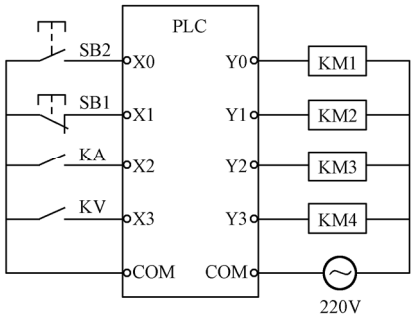


图 4-42　同步电动机启动电路 PLC 控制接线图

（2）同步电动机启动控制梯形图如图 4-43 所示。当按下启动按钮 SB2 后，X000 闭合，X001 对应的按钮是闭合的，X001 已闭合，M0 得电，同时 Y000 得电，同步电动机串电阻 R1 启动。在定时器 T10 的作用下，启动 5s 后，Y002 得电，切除串电阻 R1 继续启动，同时定时器 T11 定时 5s 后，切断 Y000，接通 Y003，同步电动机励磁启动结束。若电网欠电压，Y001 接通，同步电动机在强励磁条件下启动，最终在直流电作用下正常运转。其梯形图对应的语句表如下：

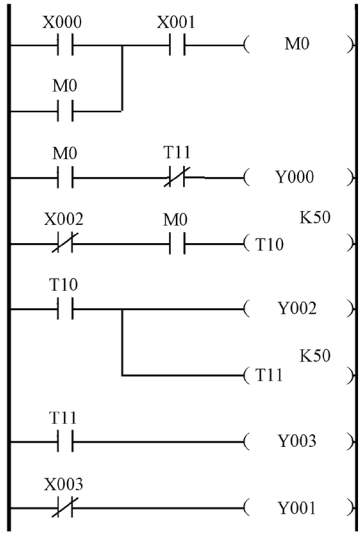


图 4-43　同步电动机启动控制梯形图

```
LD      X000
OR      M0
AND     X001
OUT     M0

LD      M0
ANI     T11
OUT     Y000

LDN     X002
AND     M0
OUT     T10     K50

LD      T10
OUT     Y002
OUT     T11     K50
```

```
LD      T11
OUT     Y003

LDI     X003
OUT     Y001
```



实例分析

本实例要求读者对同步电动机的启动运行情况充分了解；否则，将很难编写梯形图程序。要对常用电动机控制编程，需要充分理解电动机的工作过程及原理。

4.3.4 步进电动机控制

步进电动机是一种将电脉冲信号转换成相应角位移或直线位移的机电执行元件，广泛应用于自动化控制领域。每当输入一个电脉冲时，它便转过一个固定的步距角，脉冲一个一个地输入，电动机便一步一步地转动，脉冲的数量决定了旋转的总角度，脉冲的频率决定了旋转的速度，方向信号决定旋转方向。

步进电动机能响应而不失步的最高步进频率称为启动频率。与此类似，停止频率是指系统控制信号突然关断，步进电动机不冲过目标位置的最高步进频率。电动机的启动频率、停止频率和输出转矩都要和负载的转动惯量相适应。在一个实际的控制系统中，要根据负载的情况来选择步进电动机。同时，考虑到系统响应的及时性、可靠性和使用寿命，PLC 大多选择晶体管输出型。



实例 73：步进电动机正、反转控制



实例说明

用三菱 FX_{2N} PLC 控制一台步进电动机，可以用 Y0、Y1 和 Y2 分别输出到 A、B、C 相功放电路，驱动三相步进电动机，如图 4-44 所示。

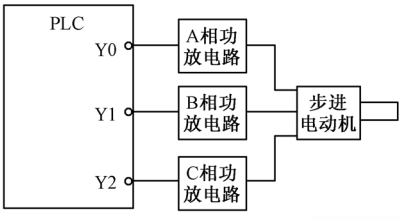


图 4-44　PLC 控制步进电动机系统示意图



实例实现

（1）控制系统组成及元件选择。系统由三菱 FX_{2N} PLC、电源模块、功放器与步进电动机组成。FX_{2N} PLC 作为控制系统的核心，有 8 输入/8 输出，共 16 个数字量 I/O 端子，有较强的控制能力。

（2）PLC 硬件接线。PLC 主控单元由现场按钮输入信号、脉冲状态指示灯等输出信号组成。根据控制要求列出输入/输出信号，并标出代号，如表 4-4 所示。分配每个 I/O 点的地址，并画出 PLC 与现场器件的安装接线图，如图 4-45 所示。

表 4-4　I/O 分配表

输 入 信 号			输 出 信 号	
代号	地址号	名称	地址号	名称
SB0	X0	正、反转开关	Y0	A 相功放电路
SB1	X1	启/停按钮	Y1	B 相功放电路
SB2	X2	减速按钮	Y2	C 相功放电路
SB3	X3	加速按钮	Y4	运行指示灯 HL

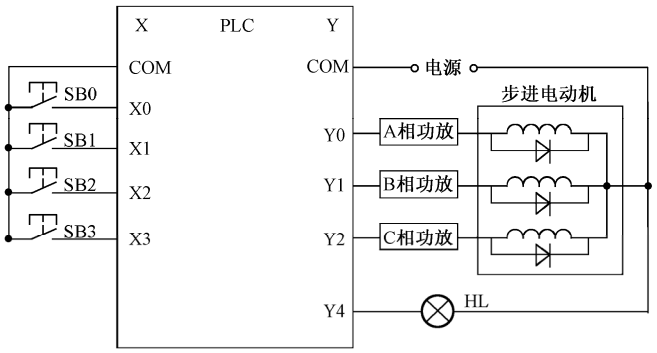


图 4-45　PLC 与现场器件的安装接线图

（3）PLC 控制程序。三菱 FX_{2N} PLC 直接经功放器驱动步进电动机的控制程序的梯形图如图 4-46 所示。电动机启动时，按下按钮 SB1，X001、Y004 和 M0，由“0”翻转为“1”，运行指示灯 HL 亮，M0 常开触点闭合，接通 58 行定时器 T246，延时时间为 D0，D0 的初始值为 K500。此时，第 7 行的 DECOP 和 INCP 指令作用，指定输出继电器 Y0、Y1、Y2 脉冲列输出顺序，通过 23、31、39 行输出脉冲控制步进电动机正转（X000 默认为 OFF 状态，电动机正转）。若 SB0 合上，X000 的状态为 ON，电动机反转。按下按钮 SB2，62 行中 X002 闭合，D0 在 M8012 的 0.1s 脉冲下进行加 1 计数，即对步进电动机减速调整，并设定最高频率 K5000 时断开。同理，按下按钮 SB3，X003 闭合，对步进电动机进行加速调整，并设定最低频率 K200 时断开。再按下按钮 SB1，X001、Y004 和 M0，由“1”翻转为“0”，运行指示灯 HL 熄灭，Y004 常开触点断开、常闭触点闭合，将输出继电器 Y0～Y3 复位，电动机停止。其梯形图对应的语句表如下：

```
    0     LD      X001
    1     ALTP    Y004
    4     ALTP    M0
    7     LD      M0
    8     AND     T246
    9     DECOP   D1      M10     K3      *＜指定脉冲列输出顺序＞
   16     INCP    D1                      *＜移位值＞
   19     LD      M16
   20     RST     D1                      *＜复位＞
   23     LD      M11
   24     ANI     X000                    *＜当 X0 的状态为 OFF 时，电动机正转＞
   25     LD      M14
```

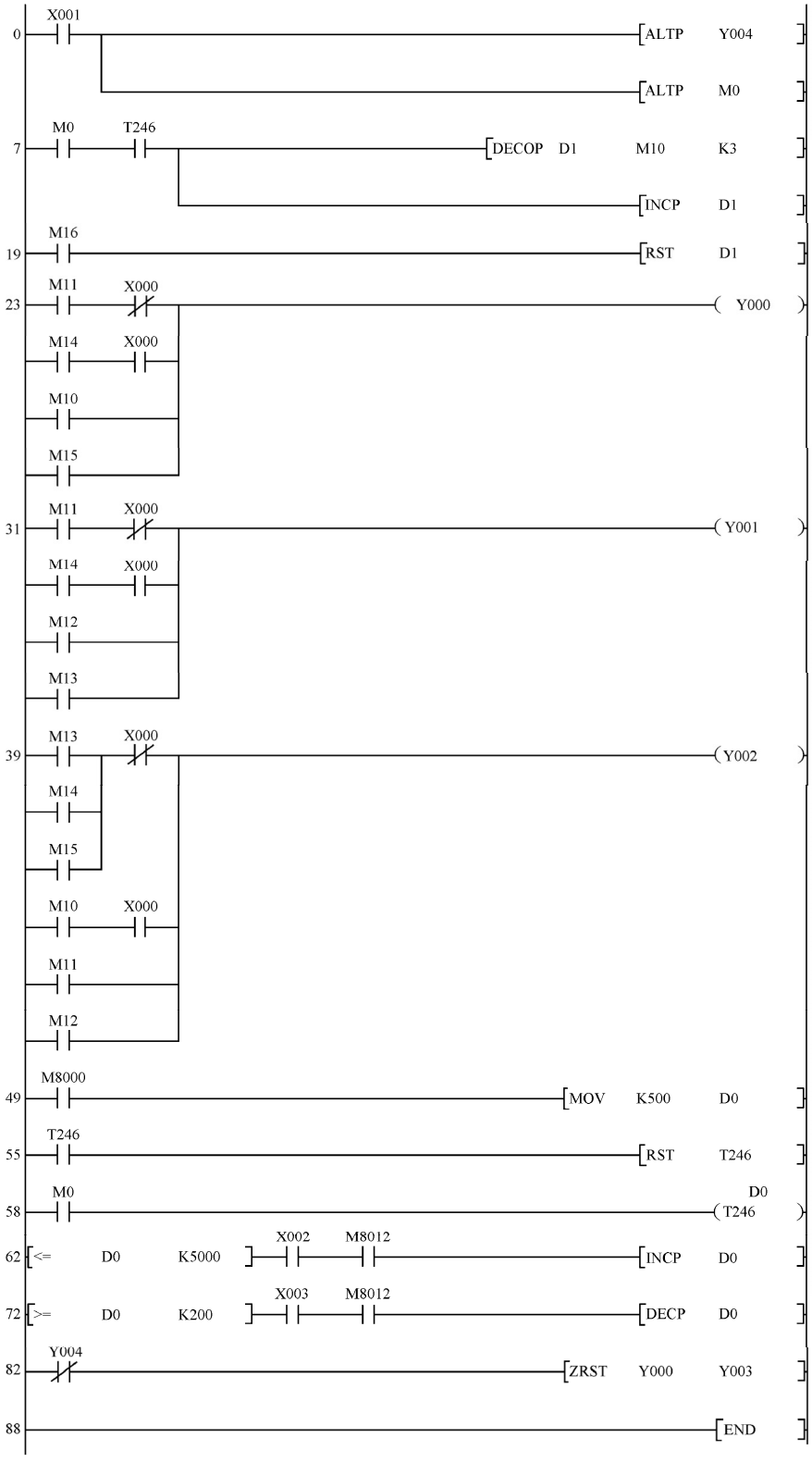

0 X001 ALTP Y004
ALTP M0
7 M0 T246 DECOP D1 M10 K3
INCP D1
19 M16 RST D1
23 M11 X000 Y000
M14 X000
M10
M15
31 M11 X000 Y001
M14 X000
M12
M13
39 M13 X000 Y002
M14
M15
M10 X000
M11
M12
49 M8000 MOV K500 D0
55 T246 RST T246
58 M0 D0 T246
62 <= D0 K5000 X002 M8012 INCP D0
72 >= D0 K200 X003 M8012 DECP D0
82 Y004 ZRST Y000 Y003
88 END

图 4-46　梯形图

```
26    AND    X000                *＜当 X0 的状态为 ON 时，电动机反转＞
27    ORB
28    OR     M10
29    OR     M15
30    OUT    Y000
31    LD     M11
32    ANI    X000
33    LD     M14
34    AND    X000
35    ORB
36    OR     M12
37    OR     M13
38    OUT    Y001
39    LD     M13
40    OR     M14
41    OR     M15
42    ANI    X000
43    LD     M10
44    AND    X000
45    ORB
46    OR     M11
47    OR     M12
48    OUT    Y002
49    LD     M8000               *＜脉冲频率初值＞
50    MOV    K500    D0
55    LD     T246                *＜脉冲列形成＞
56    RST    T246
58    LD     M0
59    OUT    T246    D0
62    LD<=   D0      K5000       *＜减速调整，并设定最高频率＞
67    AND    X002
68    AND    M8012
69    INCP   D0
72    LD>=   D0      K200        *＜加速调整，并设定最低频率＞
73    AND    X003
74    AND    M8012
79    DECP   D0
82    LDI    Y004
83    ZRST   Y000    Y003
88    END
```

实例分析

在现代自动控制设备中，步进电动机的应用越来越多，对步进电动机的控制成为一个普遍性的问题。现今的 PLC 功能越来越强，指令速度越来越快，用微小型 PLC 就能构成各种步进电动机控制系统，具有控制简单、运行稳定、开发周期短等优点，是一种切实可行的

步进电动机控制方案。本例主要介绍的是 PLC 直接经功放器驱动步进电动机的开环控制，程序具有正、反转，加、减速调整，频率设定等功能，用特殊功能辅助继电器 M8012 的脉冲信号控制步进电动机运行，程序结构合理、可读性好。如果用旋转编码器做速度或位置反馈，结合 PLC 的高速脉冲计数功能，还可实现闭环控制。

4.4 简易梯形图程序设计

对于初学者来说，在第 3 章三菱 PLC 指令系统基本知识基础上，结合电动机的 PLC 控制程序设计思路，通过基本控制程序的组合与灵活应用，可以完成一些简易程序的编程设计。下面以实例形式说明简易梯形图程序设计过程。

实例 74：车间排风系统状态监控

实例说明

某飞机喷漆车间在喷漆时要保持车间通畅排风，排风系统由三台风机组成，风机工作状态用状态指示灯进行监控。当排风系统中有两台以上风机工作时，指示灯保持连续发光，表示通风状况良好；当只有 1 台风机工作时，指示灯以 0.5Hz 频率闪烁报警，表示通风状况不佳，需要检修；当没有风机工作时，指示灯以 2Hz 频率闪烁报警，报警蜂鸣器发声，车间处于危险状态，需要停工。

实例实现

根据控制要求，首先确定 I/O 分配，然后应用前面介绍的基本程序或典型程序设计系统控制程序。

（1）确定 I/O 分配。为了实现控制，系统至少需要 3 个输入与 2 个输出，假设所确定对应的输入/输出地址与状态如表 4-5 所示。

表 4-5 I/O 分配表

地　址	名　称	状　态	类　型
X1	风机 1 工作	工作 X1 为“1”；停止 X1 为“0”	常开输入
X2	风机 2 工作	工作 X2 为“1”；停止 X2 为“0”	
X3	风机 3 工作	工作 X3 为“1”；停止 X3 为“0”	
Y1	报警指示灯	两台以上风机工作，Y1 为“1” 0.5Hz 频率闪烁，1 台风机工作 2Hz 频率闪烁，无风机工作	输出
Y2	报警蜂鸣器	蜂鸣报警 Y2 为“1”；无报警 Y2 为“0”	

（2）控制程序设计。根据控制要求，利于运用基本或典型控制程序，可以将控制程序分为指示灯闪烁信号生成程序、风机工作状态检测程序、指示灯输出程序和蜂鸣器输出程序。

① 闪烁信号生成程序。本控制要求中有 2Hz、0.5Hz 两种频率闪烁信号，根据实

例 58 的基本程序可以得到这两种频率闪烁信号生成的梯形图，如图 4-47 所示。图中定时器 T200、T201、T202、T203 的计时单位均为 10ms，定时器 T200、T201 设定为 250ms（定时器设定值为 K25），产生 2Hz 频率闪烁信号；定时器 T202、T203 设定为 1s（定时器设定值为 K100），产生 0.5Hz 频率闪烁信号。M1 为 2Hz 频率闪烁启动信号；M2 为 2Hz 频率闪烁输出；M3 为 0.5Hz 频率闪烁启动信号；M4 为 0.5Hz 频率闪烁输出。

② 风机工作状态检测程序。风机工作状态检测程序可根据已知条件及 I/O 分配表，分别对两台以上风机运行、只有 1 台风机运行、没有风机运行 3 种情况进行编程，3 种情况对应辅助继电器 M0、M3、M1，可以得到梯形图如图 4-48 所示。

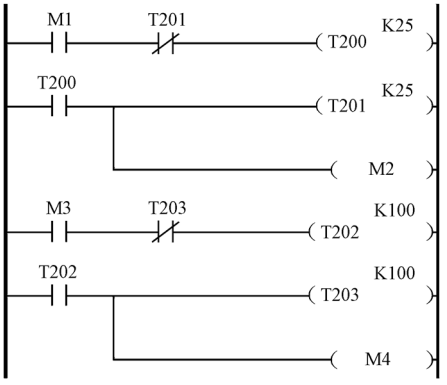


图 4-47　闪烁信号生成梯形图

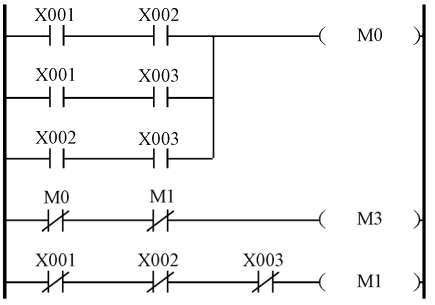


图 4-48　风机工作状态检测梯形图

③ 指示灯输出程序。指示灯输出程序只需要根据风机的运行状态与对应的报警灯要求，将以上两部分程序的输出信号进行合并，并按照规定的输出地址控制输出即可。指示灯输出梯形图如图 4-49 所示。M1、M3 分别是 M2、M4 的启动条件。因此，利用 M2 直接代替 M1 与 M2“与”运算支路；M4 直接代替 M3 与 M4“与”运算支路，也可以得到同样的结果。此外，M0、M3、M1 不可能有两个或两个以上同时为“1”，程序设计时没有再考虑输出程序中的“互锁”条件。

④ 蜂鸣器输出程序。蜂鸣器输出梯形图如图 4-50 所示。根据对应的报警指示灯要求，由 M2 启动蜂鸣器输出 Y002 并自锁，实现连续蜂鸣报警，M1 是 2Hz 频率闪烁启动信号，M2 得电时，M1 已闭合。

（3）完善程序。作为实例 75 控制要求的完整实现程序，只需要将以上 4 部分梯形图合并即可。完整的蜂鸣器输出梯形图如图 4-51 所示。对于指示灯信号来说，无须考虑 1 个 PLC 循环时间的影响，程序的先后次序对实际动作不产生影响。

实例分析

设计某飞机喷漆车间排风系统状态监控程序时，首先分析系统控制条件，然后根据控制条件将控制程序分为指示灯闪烁信号生成程序、风机工作状态检测程序、指示灯输出程序和蜂鸣器输出程序四部分，这些小程序可以用基本或典型控制程序灵活组合。因此，熟练掌握一些基本控制程序，并用它们编写一些控制程序，对编程初学者来说是非常重要的。

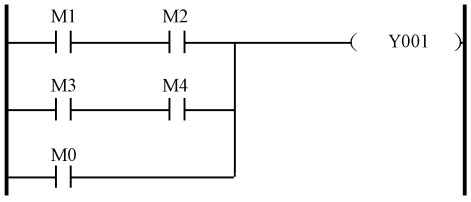


图 4-49　指示灯输出梯形图

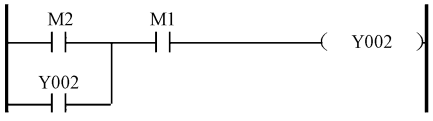


图 4-50　蜂鸣器输出梯形图

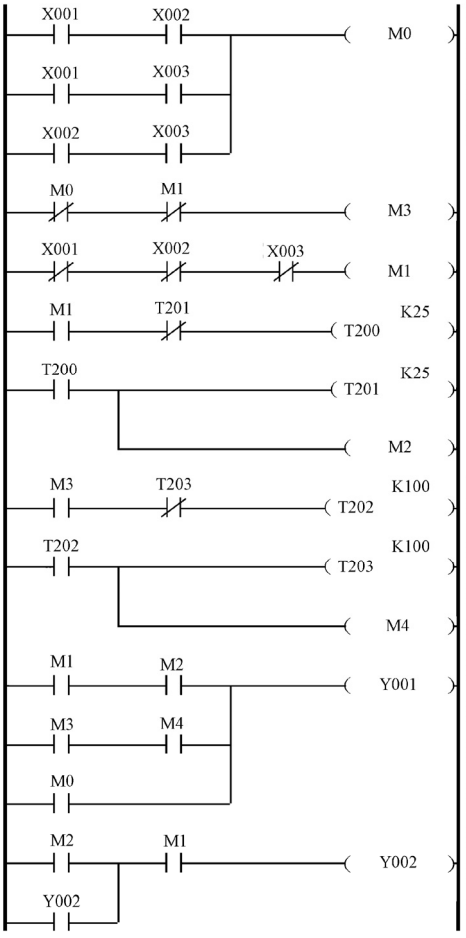


图 4-51　完整的蜂鸣器输出梯形图

思考题

1．简述三菱 PLC 编程规则。

2．试设计一个四分频的梯形图，并写出对应的指令，画出输入信号及输出信号的状态时序图。

3．编制抢答器程序。控制要求：3 位参赛者的抢答按钮对应的 PLC 接线端子分别为 X000、X001 和 X002，相应信号灯分别是 Y000、Y001 和 Y002，主持人的启动按钮接线端子为 X003；当主持人读完试题，按下启动按钮后，3 位参赛者可抢答，最早按下抢答按钮的参赛者信号灯被点亮，其他参赛者灯不能被点亮。

4．编制洗衣机清洗控制程序。控制要求：当按下启动按钮对应的 PLC 接线端子 X000 后，电动机先正转 2s，停 2s，然后反转 2s，停 2s，如此重复 5 次，自动停止清洗；当按下停止按钮 X001 后，停止清洗。

5．设计两台电动机顺序控制 PLC 系统。控制要求：两台电动机相互协调运转，M1 运转 10s，停止 5s，M2 要求与 M1 相反，M1 停止 M2 运行，M1 运行 M2 停止，如此反复动作 3 次，M1 和 M2 均停止。

第 5 章　顺序功能图和步进梯形图

在工业生产过程控制中，大部分控制系统可以分为过程控制与顺序控制两类。所谓顺序控制，是指按照预先规定的生产工艺顺序，在各个转移控制信号的作用下，根据内部状态和时间的顺序，各个被控执行机构自动有序地进行操作。相应的设计方法就称为顺序控制设计法。利用顺序控制法进行编程的图形化语言称为顺序功能图（Sequential Function Chart，SFC）。在三菱 FX 系列的 PLC 中，为了方便顺序功能图与传统梯形图的对应与转换，三菱公司又开发了一种专用的“步进梯形图”语言。本章通过实例对 SFC 及“步进梯形图”的基本概念、编程方法及几种不同的 SFC 设计方法做详细介绍。

5.1　基本概念



顺序控制设计法是针对以往在设计顺序控制程序时采用经验设计法的诸多不足而产生的。其基本思想是将控制系统的一个执行周期划分成一系列顺序相连却又相互独立的阶段，这些阶段称为步（Step），在 PLC 中用软元件来实现，如辅助继电器 M 或状态继电器 S 等。步由输入量 X 控制，然后再去控制输出量 Y，如图 5-1 所示。步划分的依据是输出量的状态变化，在任意一步内，各输出量的状态是保持不变的，但相邻两步间的输出量状态成一种“非”的关系，即各元件的“ON/OFF”状态是依次顺序变化的，也就解决了经验设计法中的记忆、连锁等问题。因此，输出电路的设计极为简单，也容易被初学者所接受。

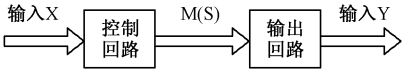


图 5-1　顺序控制基本思想

步与步之间的转换依靠转换条件进行。所谓转换条件，即改变步状态的输入信号，此信号既可以是外部信号，也可以是 PLC 内部产生的信号，还可以是若干个信号简单或复杂的逻辑组合。

使用顺序控制法编程的一种有力工具是顺序功能图，又称状态转移图或功能表图。但它并不涉及所描述控制功能的具体技术，它是一种通用性语言，或者说是一种组织编程的工具，一般需要用梯形图或指令表将其转化成 PLC 可以执行的程序。因此更确切地说，顺序功能图是一种编程的辅助工具。

顺序功能图结合顺序控制设计法，在 PLC 控制设计中得到了日益广泛的应用，各个 PLC 生产厂商也都开发了相应的顺序功能图编程功能。1994 年 5 月，IEC 公布的 IEC PLC 标准（IEC 61131—3）中，将它在公用元素中予以规范。这就是说，不论在文本化语言中，或者在图形化语言中，都可以运用 SFC 的概念、句法和语法。我国最新颁布的顺序功能图国家标准采用 GRAFCET 规范语言（GB/T 21654—2008）。

5.1.1　顺序功能图的基本要素

顺序功能图主要由步（Steps）、转换（Transitions）、转换条件、有向连线和动作

（Actions）组成，如图 5-2 所示。其中，构成 SFC 的基本要素是步、动作和转移。

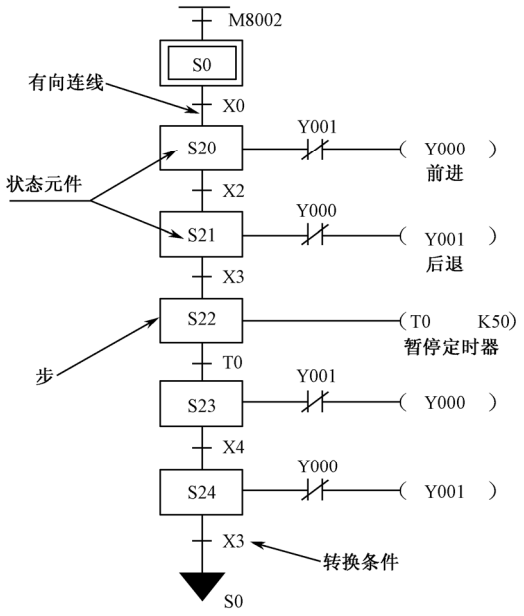


图 5-2　顺序功能图示例

1．步

步在 SFC 程序中也叫做状态，它是一种逻辑块，指控制对象的某一特定的工作情况。在顺序功能图中，步用方框表示，方框里的数字是步的编号，也就是程序执行的顺序。为了在设计梯形图时方便，也可以用 PLC 的内部元件地址来代表各步，作为步的编号。例如，PLC 内部继电器（M103）等，在三菱 PLC 中，还可以利用专门的软元件“S**”（如 S20）表示。表 5-1 为三菱公司 FX 系列 PLC 软元件一览表。

表 5-1　三菱公司 FX 系列 PLC 软元件一览表

PLC 型号	初 始 化 用	ITS 指令用	一　般　用	报　警　用	停电保持区
FX_{1S}	S0～S9	S10～S19	S20～S127	—	S0～S127
FX_{1N}/FX_{1NC}	S0～S9	S10～S19	S20～S899	S900～S999	S10～S127
FX_{2N}/FX_{2NC}	S0～S9	S10～S19	S20～S899	S900～S999	S500～S899
FX_{3U}/FX_{3UC}	S0～S9	S10～S19	S20～S4095	—	S500～S4095

步有两种状态：活动态和非活动态。在某一时刻，某一步可能处于活动态，也可能处于非活动态。当步处于活动态时称其为“活动步”，与之相对应的命令或动作将被执行；与初始状态相对应的活动步称为“初始步”，每个顺序功能图中至少应该有一个“初始步”，初始步用带步编号的双线框表示；某步处于非活动态时为“静止步”，相应的非保持型动作被停止执行，而保持型动作则继续执行。某步的状态用二进制逻辑值“0”或“1”表示。例如，S20=0 表示步 1 是静止步，S22=1 表示步 3 是活动步。

2．动作

一个控制系统中施控系统发出一个或数个“命令（Command）”，被控系统则执行相应的一个或数个“动作（Action）”，在活动步阶段这些动作或命令被执行。在功能图中，动作或命令用矩形框内的文字或符号表示，该矩形框与相应的步的图形符号相连。一个步可以同时与多个动作或命令相连，这些动作可以水平布置或垂直布置，如表 5-2 所示。这些动作或命令是同时执行的，没有先后之分。

表 5-2　动作与步相连的画法

图 形 符 号	说　　明
03 — 动作	与步相对应的动作或命令用矩形框内的文字或符号表示。矩形框与步的图形符号用短线连接
05 — 动作A \| 动作B \| 动作C	多个动作或命令与同一步相连，采用水平布置
06 — 命令A / 命令B / 命令C	多个动作或命令与同一步相连，采用垂直布置

动作或命令的类型有很多种，如定时、延时、脉冲、保持型和非保持型等。动作或命令说明语句应正确选用，以明确表明该动作或命令是保持型还是非保持型，并且正确地说明语句还可区分动作与命令之间的差别。

3．转换（转移）

转换是结束某一步的操作而启动下一步操作的条件，这种条件是各种控制信号综合的结果。步的活动状态的进展由转换的实现来完成，并与控制过程的发展相对应。转换在功能图中用与有向连线垂直的短横线表示，两个转移也不能直接相连，必须用一个步隔开。转移也称变迁或过渡。图 5-3（a）中共有 4 种转换条件。

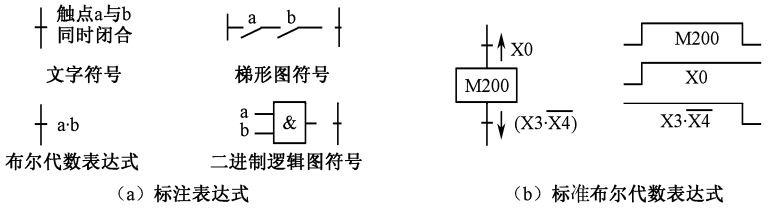


图 5-3　转换与转换条件

1）转换条件

使系统由当前步进入下一步的信号称为转换条件。转换条件可以是外部的输入信号，也可以是 PLC 内部产生的信号，还可能是若干个信号与、或、非逻辑的组合。转换条件是与转换相关的逻辑命题。转换条件的表达形式有文字符号、布尔代数表达式、梯形图符号和二进制逻辑图符号 4 种。转换条件标注在转换的短线旁边，其中使用最多的是布尔代数表达式。

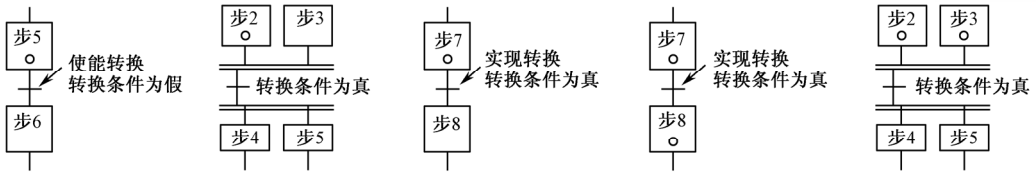
转换条件 X0 和 $\overline{X0}$ 分别表示当二进制逻辑输入信号 X0 为“1”和“0”状态时，实现

转换。符号↑X0 和↓X0 分别表示当 X0 的状态从 0→1 和从 1→0 状态时实现转换。**一般地，“↑”不用画出来。**

图 5-3（b）中用高电平表示步 M200 是活动步。转换条件 X3 • $\overline{X4}$ 表示 X3 的常开触点和 X4 的常闭触点串联，X3 的常开触点闭合和 X4 的常闭触点断开后转换发生。

2）转换的使能和实现

根据步的状态不同，转换可分为使能转换和非使能转换两种。所谓使能转换，是指与某一转换相连的所有前级步都为活动步，如图 5-4（a）所示；否则此转换为“非使能转换”，如图 5-4（b）所示。如果某转换是使能转换且该转换相应的转换条件满足，则此转换为“实现转换”，也称为“触发（Firing）”，如图 5-4（c）所示，即所有前级步变为静态步，而与此转换相连的后级步变为活动步，如图 5-4（d）所示；如果转换的前级步或后续步不止一个，实现转换称为同步转换，为了强调同步实现，有向连线的水平部分用双线表示，如图 5-4（e）所示。**因此要实现一个转换必须要满足两个条件：（1）该转换为使能转换；（2）相应的转换条件全部满足，这两个条件缺一不可。**



（a）使能转换　（b）非使能转换　（c）实现转换　（d）前级步变静态步　（e）同步转换

图 5-4　转换的使能

只有当某步的前级步是活动步时，该步才有可能变为活动步。而初始步位于起始位置，为此必须外加一驱动使初始步变为活动步。一般采用 PLC 上电时内部常闭触点启动初始步，并采用特殊辅助继电器 M8002 的常开触点作为转换条件。如果系统有自动和手动两种工作方式，还应在系统由手动转入自动时用一个适当的信号将初始步置为活动步。

4．有向连线

有向连线表示步与步之间进展的路线和方向，也表示了各步之间的连接顺序关系，有向连线也称为路径。有向连线的方向可以是水平的，也可以是垂直的，有时也可以用斜线表示。由于 PLC 的扫描顺序遵循从上到下、从左至右的原则，按照此原则发展的路线可不必标出箭头。如果不遵循上述原则，必须加箭头。在可以省略箭头的有向连线上，为了更易于理解也可以加箭头。如果垂直线和水平线没有内在的联系，则允许它们交叉；否则，不允许交叉。在复杂图或几张图中表示而使用有向连线必须中断时，应在中断点处指明下一步的标号或来自上一步的编号和所在的页号，如步 100、10 页。

有向连线可分为选择和并行两种。选择连线间的关系是逻辑“或”的关系，哪条连线转换条件最先得到满足，该连线就被选中，程序就沿着这条线往下执行。选择连线的分支与合并一般用单横线表示。并行连线间的逻辑关系是“与”的关系，只要转换条件满足，下面所有连线必须同时执行。并行连线的分支与合并一般用双横线表示。

步、有向连线、转换的关系：步经有向连线连接到转换，转换经有向连线连接到步。为了能在全部操作完成后返回初始状态，步和有向连线应构成一个封闭的环状结构。当工作

方式为连续循环时，最后一步应该能够回到下一个流程的初始步，也就是循环不能够在某步被终止。

5.1.2 顺序功能图的结构形式

在顺序功能图中，步与步之间根据需要连接成不同的结构形式，其基本的结构形式可分为单流程串联结构及多流程并联结构两种。在并联结构中，根据转换是否为同时又可分为选择与并行两种结构。

1．单一序列

如果一个序列中各步依次变为活动步，此序列称为单一序列。在此结构中，初始步只能有一个，步的转换方向始终自上而下、固定不变，并且每一步后面仅有一个转换，而每个转换后面也仅有一个步，如图 5-5（a）所示。

2．选择序列

选择序列的某一步后有若干个单一序列等待选择，一次只能选择一个序列进入。选择序列的开始部分称为分支，转换符号只能标在选择序列开始的水平线之下，如图 5-5（b）上半部所示。如果步 3 是活动步，当转换条件 d=1 时，则步 3 进展为步 6。与之类似，步 3 也可以进展为步 4，但是一次只能选择一个序列。

选择序列的结束称为合并，如图 5-5（b）下半部所示。几个选择序列合并到一个公共序列上时，用一条水平线和与需要重新组合序列数量相同的转换符号表示，转换符号只能标在结束水平线的上方。

3．并行序列

在某一转换实现时，同时有几个序列被激活，也就是同步实现，这些同时被激活的序列称为并行序列。并行序列表示的是系统中同时工作的几个独立部分的工作状态。并行序列的开始称为分支，如图 5-5（c）上半部所示。当步 3 是活动的且 d=1 时，4、6 这两步同时变为活动步，而步 3 变为静止步。**转换符号只允许标在表示开始同步实现的水平线上方。**

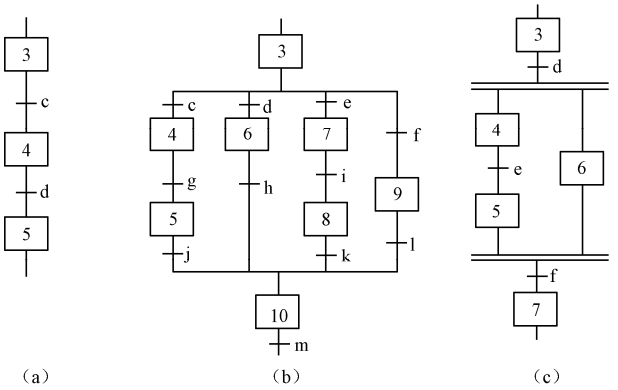


图 5-5　单序列、选择序列和并行序列

并行序列的结束称为合并，如图 5-5（c）下半部所示。**转换符号只允许标在表示合并同步实现的水平线下方。**并行序列的活动和静止可以分成一段或几段实现。

在三菱 FX 系列 PLC 中，每一个分支点最多允许 8 条支路，每条支路的步数不受限制；如果同时使用选择序列和并行序列时，最大支路数为 16 条。

4．跳步、重复和循环

跳步、重复和循环是顺序功能图中的常见结构形式，统称为循环序列。

（1）跳步：在生产过程中，有时要求在一定条件下停止执行某些原定动作，此时可用图 5-6（a）所示的跳步序列。这是一种特殊的选择序列，当步 1 为活动步时，若转换条件 f=1 且 b=0 时，则步 2、3 不被激活而直接转入步 4。

（2）重复：在一定条件下，生产过程需重复执行某几个工步的动作，此时可按图 5-6（b）所示功能图。它也是特殊的选择序列，当步 4 为活动步时，若转换条件 e=0 而 g=1 时，序列返回到步 3，重复执行步 3、4，直到转换条件 e=1 才转入步 7。

（3）循环：在序列结束后，用重复的办法直接返回到初始步，就形成了系统循环，如图 5-6（c）所示。

5．子步

在较复杂的顺序功能图中，某一步可能包含一系列的子步和转换，如图 5-7 所示。通常这种序列表示整个系统中一个完整的子功能。子步使系统设计者可以从最简单的对整个系统的描述开始，用更加简洁的方式表示系统的整体功能和概貌，子步还可以向下细分，包含更详细的子步。这样增强了设计的逻辑性，减少了设计中的错误，缩短了总体设计和查错所需的时间。

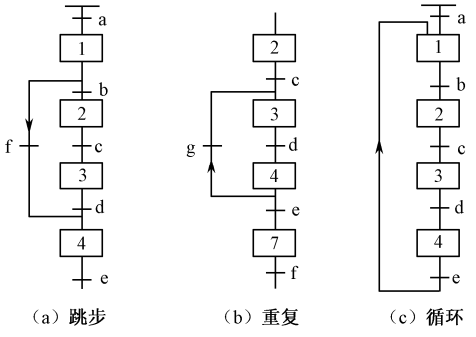


图 5-6　跳步、重复和循环

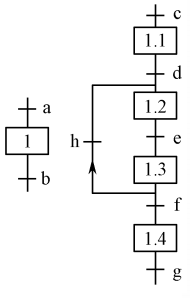


图 5-7　子步

6．复合序列

复合序列是集单一序列、选择序列、并行序列、循环序列于一体的一种序列。复合序列比较复杂，在描述实际问题时要仔细。

5.2　顺序功能图设计方法

应用顺序功能图设计控制系统程序的特点是思路清晰，步骤及方法较为固定，初学者

比较容易掌握，还可大大提高编程的效率及程序的可读性、可移植性和可维护性。其设计的一般步骤如下。

（1）根据系统的生产工艺流程或工作过程，确定各步执行的顺序和相对应的动作，以及步与步之间转换的条件。

（2）在分析的基础上编写系统的顺序功能图。

（3）选取某一具体的设计方法将顺序功能图转化为顺序控制梯形图。如果 PLC 支持顺序功能图语言，则可直接使用此语言进行编程。

5.2.1 使用启—保—停电路的设计方法

在顺序控制中，各步按照顺序先后接通和断开，犹如电动机顺序地接通和断开，因此可以像处理电动机的启动、保持、停止那样，用典型的启—保—停电路解决顺序控制的问题。此种设计方法使用辅助继电器 M 来代表各步，当某一步为活动步时，对应的继电器为得电状态“1”。

1．单一序列编程

在图 5-8 中，设 M_{i-1}、M_i、M_{i+1} 是顺序功能图中依次相连的三步，X_i 及 X_{i+1} 是其转换条件，根据功能图理论，步 M_i 的前级步是活动的（M_{i-1}=1）且转换条件成立（X_i=1），步 M_i 应变为活动步。如果将 M_i 视为电动机，而 M_{i-1} 和 X_i 视为其启动开关，则 M_i 的启动电路由 M_{i-1} 和 X_i 的常开触点串接而成。X_i 一般为非存储型触点，所以还要用 M_i 的常开触点实现自锁。同样，当 M_i 的后续步 M_{i+1} 变为活动步时，M_i 应变为静态步，因此应将 M_{i+1} 的常闭触点与 M_i 的线圈串联。

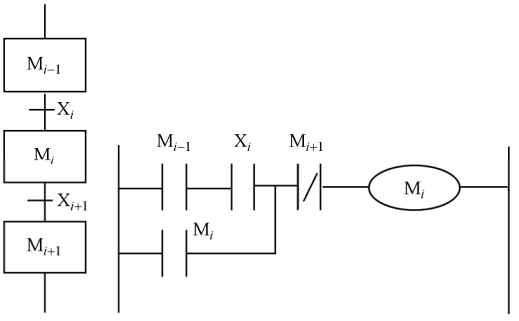


图 5-8　启—保—停电路单一序列编程方式

单一序列编程仅使用与 PLC 的触点和输出线圈相关的指令，适用于各种型号的 PLC，是顺序功能图最基本的编程方法。

2．选择序列编程

选择序列编程的关键在于对其分支和合并的处理，转换实现的基本规则是设计复杂系统梯形图的基本规则。

（1）分支编程。如果某一步的后面有一个由 *N* 条分支组成的选择序列，该步可能转换到不同的分支，应将这 *N* 个后续步对应的辅助继电器的常闭触点与该步的线圈串联，作为结束该步的条件。如图 5-9 所示，步 M_i 之后有一个选择序列的分支，当它的后续步 M_{i+1}、

M_{i+2} 或 M_{i+3} 变为活动步时，它应变为不活动步。所以，需将 M_{i+1}、M_{i+2} 和 M_{i+3} 的常闭触点串联作为步 M_i 的停止条件。

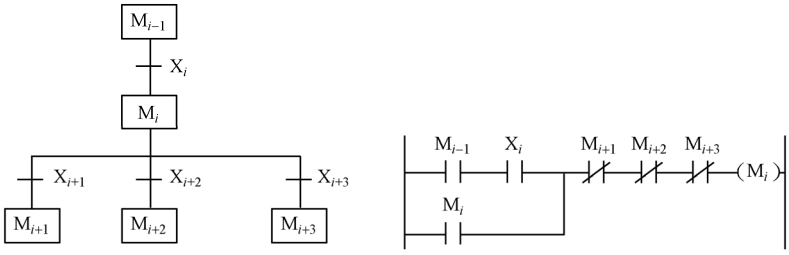


图 5-9　启—保—停电路选择序列分支编程方式

（2）合并编程。对于选择序列的合并，如果某一步之前有 N 个转换，即有 N 条分支在该步之前合并后进入该步，则代表该步的辅助继电器的启动电路由 N 条支路并联而成，各支路由某一前级步对应的辅助继电器的常开触点与相应转换条件对应的触点或电路串联而成。

如图 5-10 所示，步 M_i 之前有一个选择序列的合并。当步 M_{i-1} 为活动步且转换条件 X_{i-1} 满足，或者步 M_{i-2} 为活动步且转换条件 X_{i-2} 满足，或者步 M_{i-3} 为活动步且转换条件 X_{i-3} 满足，步 M_i 都应变为活动步，即控制步 M_i 的“启—保—停”电路的启动条件应为 $M_{i-1} \cdot X_{i-1} + M_{i-2} \cdot X_{i-2} + M_{i-3} \cdot X_{i-3}$，对应的启动条件由 3 条并联支路组成，每条支路分别由 M_{i-1}、X_{i-1}，M_{i-2}、X_{i-2}，M_{i-3}、X_{i-3} 的常开触点串联而成。

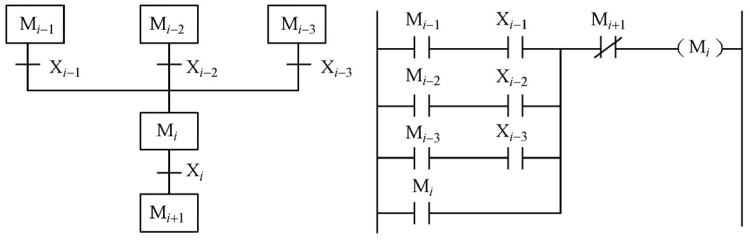


图 5-10　启—保—停电路选择序列合并编程方式

3．并行序列编程

（1）分支的编程。某并行序列某一步 M_i 的后面有 N 条分支，如果转换条件成立，并行序列中各单序列中的第一步应同时变为活动步，对控制这些步的启动、保持、停止电路使用相同的启动电路，实现这一要求，只需将 N 个后续步对应的软继电器的常闭触点中的任意一个与 M_i 的线圈串联，作为结束步 M_i 的条件即可，如图 5-11 所示。

（2）合并的编程。当并行序列合并时，只有当各并行序列的最后一步都是活动步且转换条件成立时，才能完成并行序列的合并。因此，合并后的步的启动电路应有 N 条并联支路中最后一级步的软继电器的常开触点与相应转换条件对应的电路串联而成。而合并后的步的常闭触点分别作为各并行序列的最后一步断开的条件，如图 5-11 所示。

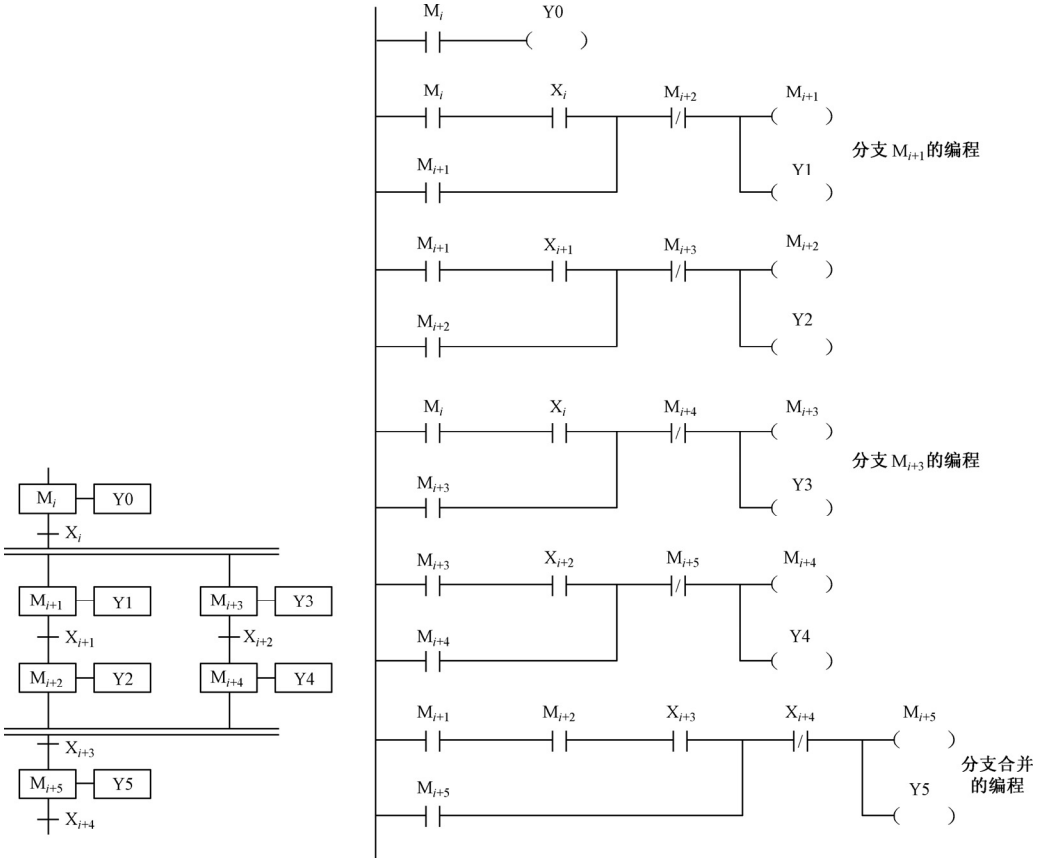


图 5-11　启—保—停电路并行序列编程方式

5.2.2　使用置位/复位的设计方法

几乎各种型号的 PLC 都有置位/复位（SET/RST）指令或相同功能的编程元件。使用通用逻辑指令实现的顺序功能控制同样也可以利用 SET、RST 指令实现。下面介绍使用 SET、RST 指令，以转换条件为中心的编程方法。

所谓以转换条件为中心，是指同一种转换在梯形图中只能出现一次，而对辅助存储器位可重复进行置位、复位。设步 M_i 是活动的（M_i=1），并且其后的转换条件成立（X_{i+1}=1），则步 M_i 应被复位，而后续步 M_{i+1} 应被置位（接通并保持）。因此可将 M_i 的常开触点和 X_{i+1} 对应的常开触点串联作为 M_i 复位和 M_{i+1} 置位的条件，该串联电路即通用逻辑电路中的启动电路。而置位、复位则采用置位、复位指令。在任何情况下，代表步的存储器位的控制电路都可以用这一方法设计，每一个转换对应一个这样的控制置位和复位的电路块，有多少个转换就有多少个这样的电路块。这种方法特别有规律，梯形图与实现转换的基本规则之间有着严格的对应关系，用于复杂功能图的梯形图设计时不容易遗漏和出错。

1．单一序列编程

图 5-12 所示为以转换条件为中心单一序列编程方式的梯形图与功能表图的对应关系。图中要实现 X_i 对应的转换必须同时满足两个条件：前级步为活动步（M_{i-1}=1）和转换条件满足（X_i=1），所以用 M_{i-1} 和 X_i 的常开触点串联组成的电路来表示上述条件。两个条件同时满足时，

该电路接通，此时应完成两个操作：将后续步变为活动步（用 SET M_i 指令将 M_i 置位），将前级步变为不活动步（用 RST M_{i-1} 指令将 M_{i-1} 复位）。这种编程方式与转换实现的基本规则之间有着严格的对应关系，用它编制复杂的功能表图的梯形图时，更能显示出它的优越性。

使用这种编程方式时，不能将输出继电器的线圈与 SET、RST 指令并联，这是因为图 5-12 中前级步和转换条件对应的串联电路接通的时间是相当短的，转换条件满足后前级步马上被复位，该串联电路被断开，而输出继电器线圈至少应该在某一步活动的全部时间内接通，因此只能用代表步的存储器位的常开触点或它们的并联电路来驱动线圈。

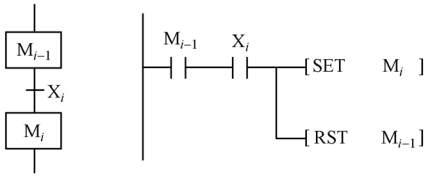


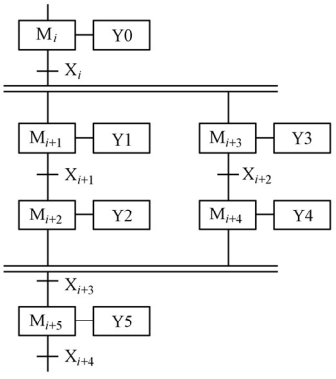
图 5-12　以转换条件为中心单一序列编程方式的梯形图与功能表图的对应关系

2．选择序列编程

选择序列的分支与合并的编程与单序列的完全相同，除了与合并序列有关的转换以外，每一个控制置位、复位的电路块都由前级步对应的存储器位的常开触点和转换条件对应的触点组成的串联电路、一条置位指令和一条复位指令组成。

3．并行序列编程

（1）分支的编程。如果某一步 M_i 的后面由 N 条分支组成，当 M_i 符合转换条件后，其后的 N 个后续步同时激活，所以只要用 M_i 与转换条件的常开触点串联使后续 N 步同时置位，而 M_i 则使用置位指令复位即可，如图 5-13 所示。



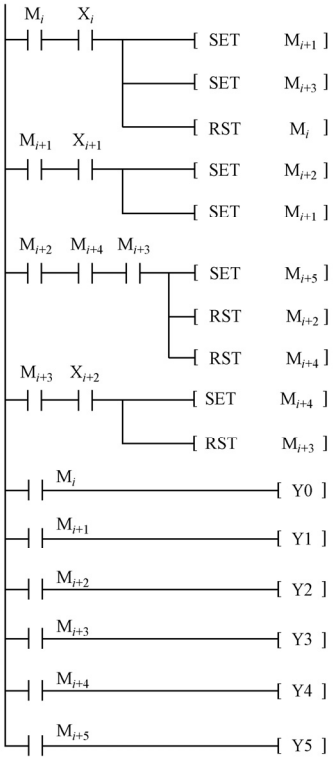


图 5-13　以转换为中心并行序列编程方式

（2）合并的编程。对于并行序列的合并，如果某一步 M_i 之前有 N 个分支，则将所有分支的最后一步的辅助继电器常开触点串联，再与转换条件串联作为步 M_i 置位和 N 个分支复位的条件，如图 5-13 所示。

5.2.3 使用 STL/RET 的设计方法

上述的两种设计方法适用于绝大多数型号的 PLC，可以称其为通用性的设计方式。除了此两种方法外，许多 PLC 生产厂家都有专门的指令和编程元件用于顺序控制程序的编制，如西门子公司的顺序控制继电器、美国 GE 公司和 GOULD 公司的鼓形控制器、欧姆龙公司的步进控制指令、东芝公司的步进顺序指令、三菱公司的步进梯形指令等。

三菱 FX 系列 PLC 有两条专门用于顺序控制的指令，即 STL（Step Ladder Instruction，步进梯形指令）指令和 RET（Return）指令。在编程时，一般与状态继电器配合使用，同时 FX 系列还具有状态初始化应用指令 IST 及用于步进顺序控制的特殊继电器，使顺序控制程序的编制非常方便。

STL 触点在 FXGP—WIN—C 软件的梯形图中用符号 ⊣S0 STL⊢ 表示，在 GX Developer 软件中用应用指令[STL S*]表示。STL 触点驱动的电路块具有 3 个功能：对负载的驱动处理、指定转换条件和指定转换目标。

在梯形图中，STL 触点一般是与左侧母线相连（并行序列的合并除外）的常开触点，当某一步为活动步时，对应的 STL 触点接通，该步的负载被驱动。当该步后面的转换条件满足时，转换实现，即后续步对应的状态器被 SET 指令置位，后续步变为活动步，同时与前级步对应的状态继电器被复位，STL 触点断开，这就是步进转移作用。

在梯形图中，每一个状态转换条件由 LD 指令或 LDI 指令引入。当转换条件有效时，该状态由置位指令 SET 激活，并由步进指令进入该状态。然后列出该状态下所有基本顺序控制指令和转换条件。

1．单一序列编程

在图 5-14 中的梯形图中，S_{i-1} 的 STL 触点与转换条件 X_i 的常开触点组成的串联电路代表转换实现的两个条件。当 S_{i-1} 为活动步且 X_i 的常开触点闭合时，转换实现的两个条件同时成立，置位指令 SET S_i 被执行，后续步 S_i 变为活动步，同时 S_{i-1} 自动复位为静态步。



图 5-14　STL 指令单一序列编程方式梯形图

2．选择序列编程

选择序列每个分支的动作由转移条件决定，但每次只能选择一条支路的转移条件，即各分支状态 S 不能同时转移。

（1）分支的编程。在选择序列步进梯形图中，某步后有 *N* 条分支选择，则该步的步进触点（STL 触点）驱动的电路块中应有 *N* 条分别指定转移条件和激活目标的并联电路。

在图 5-15 所示的顺序功能图中，S_i 之后有转移条件 X_{i+1}、X_{i+2} 和 X_{i+3}，则后续有可能转移到步 S_{i+1}、S_{i+2} 或 S_{i+3}，因此在 S_i 的步进触点后的电路块中，有 3 条由 X_{i+1}、X_{i+2} 和 X_{i+3} 作为置位（激活）条件的串联电路并联。

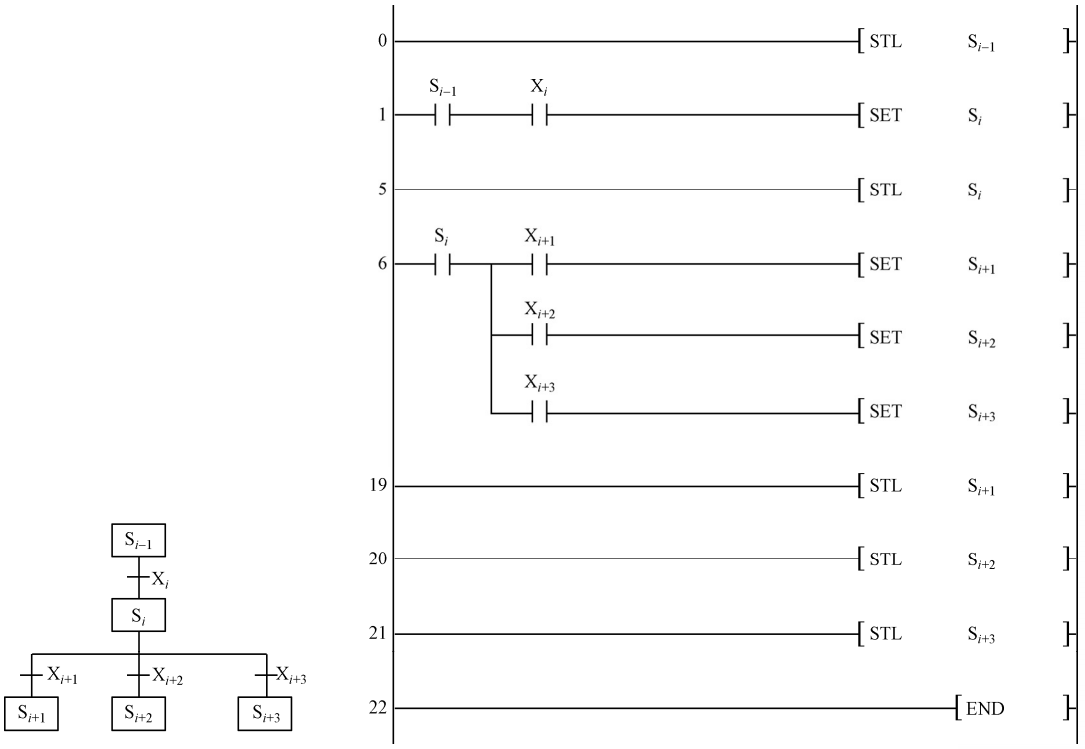


图 5-15　STL 指令选择序列分支的编程方式

（2）合并的编程。在选择序列步进梯形图中，某步前有 *N* 条分支合并，则在前 *N* 步中每一步的步进触点（STL 触点）驱动的电路块中将后续步置位（激活），同时前级步自动复位。

在图 5-16 所示的状态转移图中，S_i 之前有转移条件 X_{i-1}、X_{i-2} 和 X_{i-3}，则前级步 S_{i-1}、S_{i-2} 或 S_{i-3} 中有某一步可能转移到步 S_i，因此在 S_{i-1}、S_{i-2} 和 S_{i-3} 中步进触点后的电路块中，分别有 3 条由 X_{i-1}、X_{i-2} 和 X_{i-3} 作为置位（激活）条件的电路将 S_i 置位。

3．并行序列编程

并行序列结构的状态转移图，用于系统有几个相互独立且同时工作的控制，即有多流程（分支）且必须同时执行。

（1）分支的编程。在图 5-17 所示的功能图中，步 S_i 后有一个并行序列的分支，即

S_{i+1}、S_{i+2} 和 S_{i+3}。当 S_i 是活动步且转换条件 X_i 满足时，步 S_{i+1}、S_{i+2} 和 S_{i+3} 同时变为活动步，这 3 个序列同时工作。在梯形图中，用 S_i 的 STL 触点和 X_i 的常开触点组成串联电路来控制 SET 指令对 S_{i+1}、S_{i+2} 和 S_{i+3} 同时置位，同时系统程序将前级步 S_i 变为静态步。

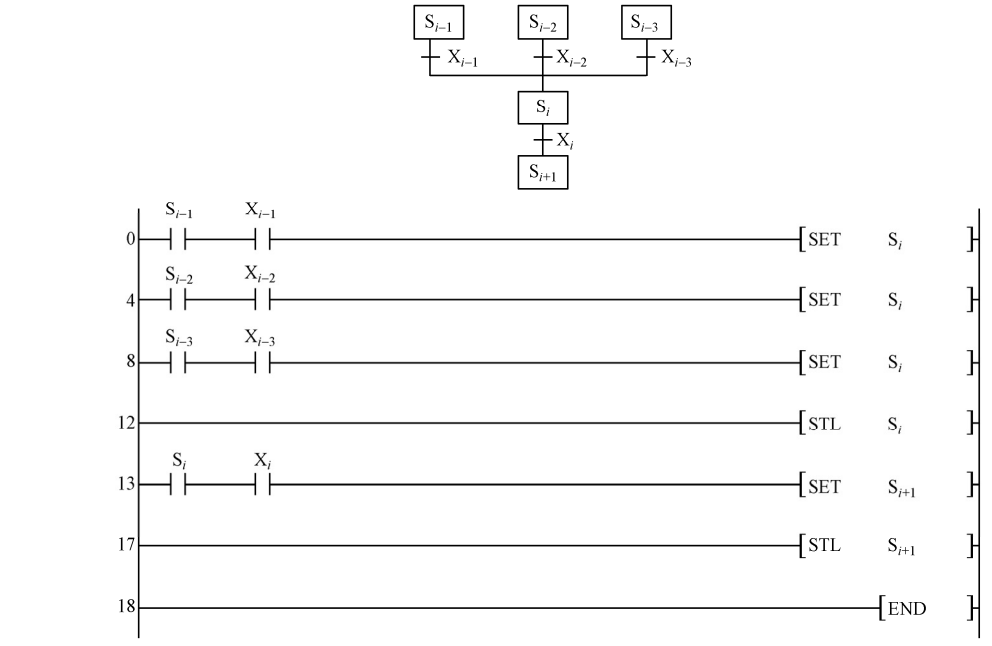


图 5-16　STL 指令选择序列合并的编程方式

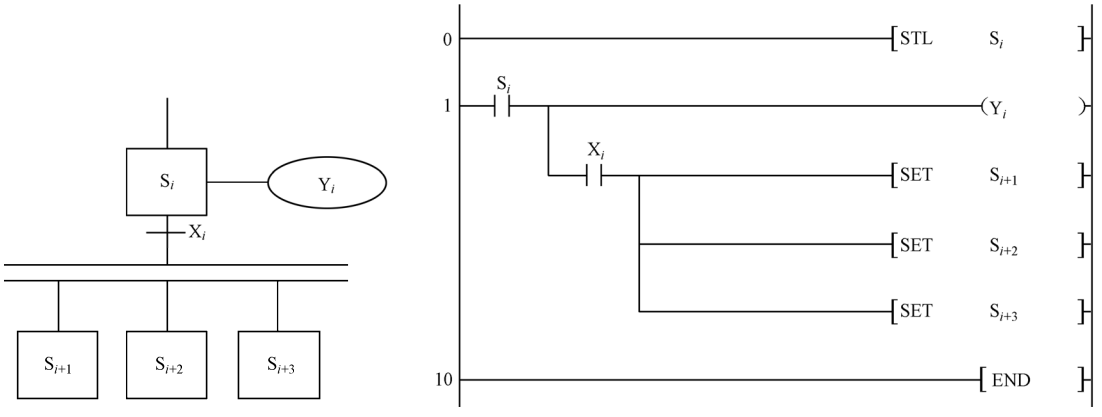


图 5-17　STL 指令并行序列分支的编程方式功能图

（2）合并的编程。图 5-18 所示为并行序列合并的功能图。在转换之前有 3 个前级步 S_{i+1}、S_{i+2} 和 S_{i+3}，根据转换实现的原则，当 3 个前级步均为活动步且转换条件 X_{i+4} 满足时，并行序列的合并将实现。在梯形图中，用 S_{i+1}、S_{i+2} 和 S_{i+3} 的 STL 触点和 X_{i+4} 的常开触点组成串联电路使 S_{i+4} 置位。同时系统程序将前级步 S_{i+1}、S_{i+2} 和 S_{i+3} 复位。在图 5-18 中，S_{i+1}、S_{i+2} 和 S_{i+3} 均出现了两次，只有在并行序列合并时才会有此情况，在其他的序列结构中，同一状态继电器的 STL 触点只能使用一次。另外，梯形图中串联的 STL 触点的个数不能超过 8 个。也就是说，**一个并行序列中的分支序列数不能超过 8 个。**

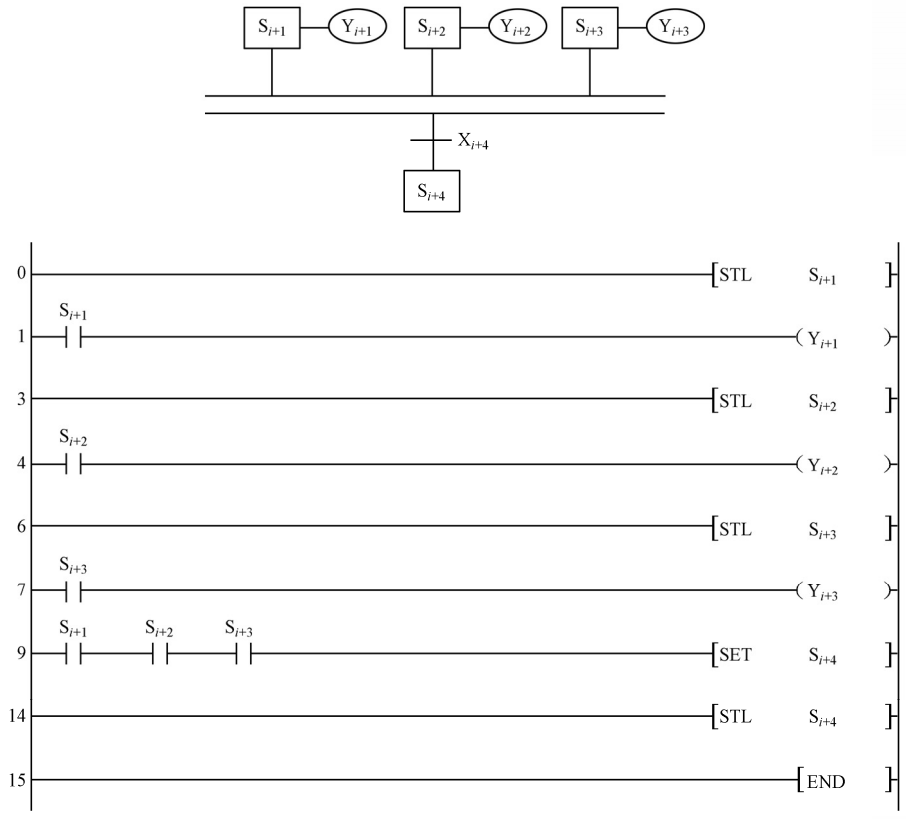


图 5-18　STL 指令并行序列合并的编程方式功能图

实例 75：运料车装卸料控制

实例说明

如图 5-19 所示，运料车处在原点位置，下限位开关 LS1 被压合，料斗门关闭，原点指示灯亮。当按下启动按钮 SB1 时料斗门打开，时间为 10s，给运料车装料。装运料结束，料斗门关闭，延时 2s 后料车上升，直至压合上限位开关 LS2 后停止，延时 2s 后卸料 12s，料车复位并下降至原点，压合 LS1 后停止，然后开始下一个循环工作。

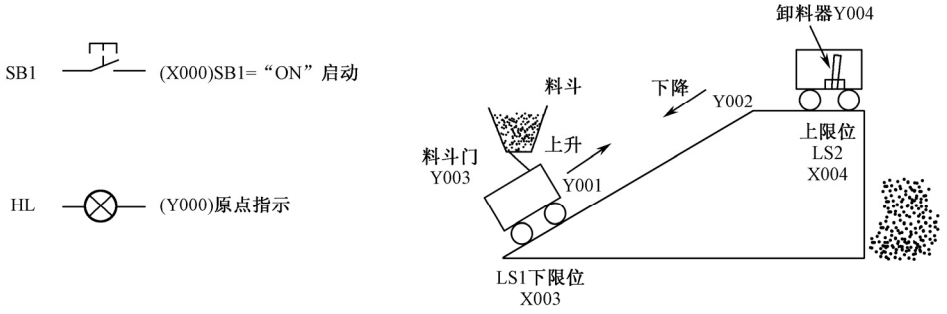


图 5-19　运料车运动示意图

实例实现

根据控制要求，整个过程可划分为 7 步，包括代表初始状态的初始步及按下启动按钮 SB1 后要执行的 6 步，分别用 M200～M206 来表示。定时器 T0、T1、T2、T3 分别为对应步的延时，其常开触点同时作为步与步之间转换的条件。根据功能图及单一序列的编程方法，可以得出图 5-20 所示的运料车顺序控制功能图。

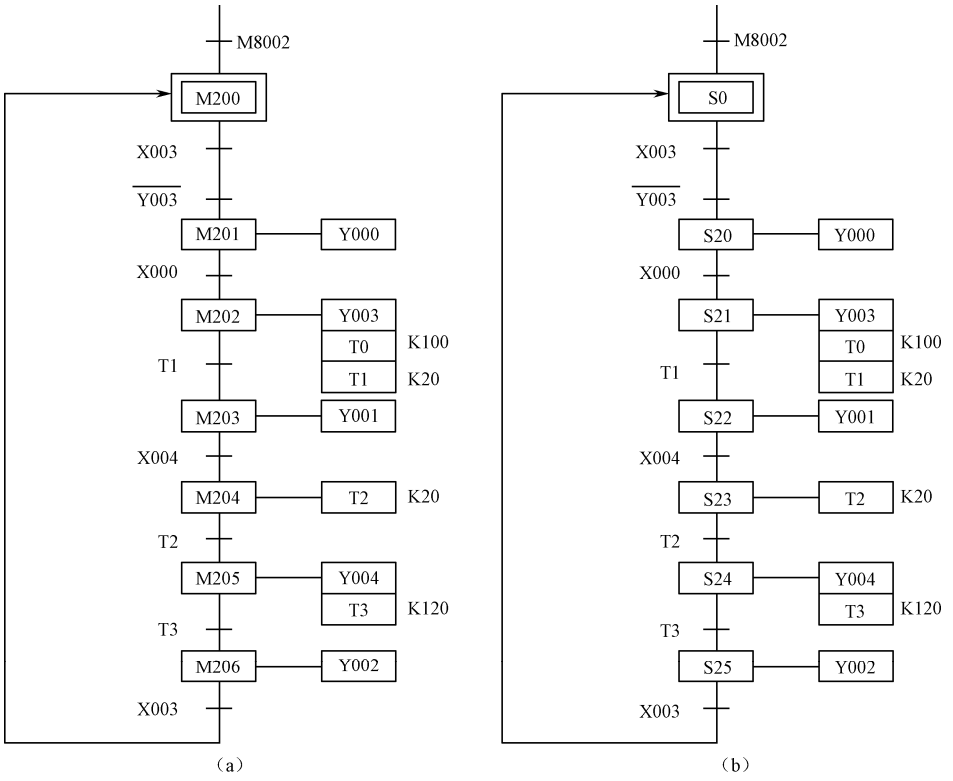


图 5-20　运料车顺序控制功能图

在图 5-21 所示的启—保—停电路梯形图中，设 M_i= M200，由顺序功能图 5-20（a）可知，M_{i-1}= M206，X_i=X003 • $\overline{Y003}$，M_{i+1}=M201，所以将 M206 和 X003 的常开触点及 Y003 的常闭触点串联作为 M200 的启动电路。在启动电路中还并联了 M200 的自保持触点。后续步 M201 的常闭触点串入 M200 的线圈。M201 接通时，M200 断开。在 PLC 开始运行时应将 M200 置为 1；否则，系统无法工作。因此把仅在第一个扫描周期接通的 M8002 的常开触点与上述电路并联。M8002 是特殊功能继电器，其功能是初始化脉冲，即 PLC 的状态从 STOP 到 RUN 时，M8002 瞬时接通一个扫描周期，驱动初始状态继电器 M200 进入初始状态步。

在功能图中，步划分的依据是输出量的变化，因此步与输出量的关系也较为简单。如果某一输出量仅在某一步中有输出，如 Y002 仅在步 M206 中输出，此时可以将其线圈与对应步的存储器位 M206 的线圈并联。若在几步中有同一输出时，为避免双线圈输出，采用辅助继电器的常开触点并联后驱动输出量。

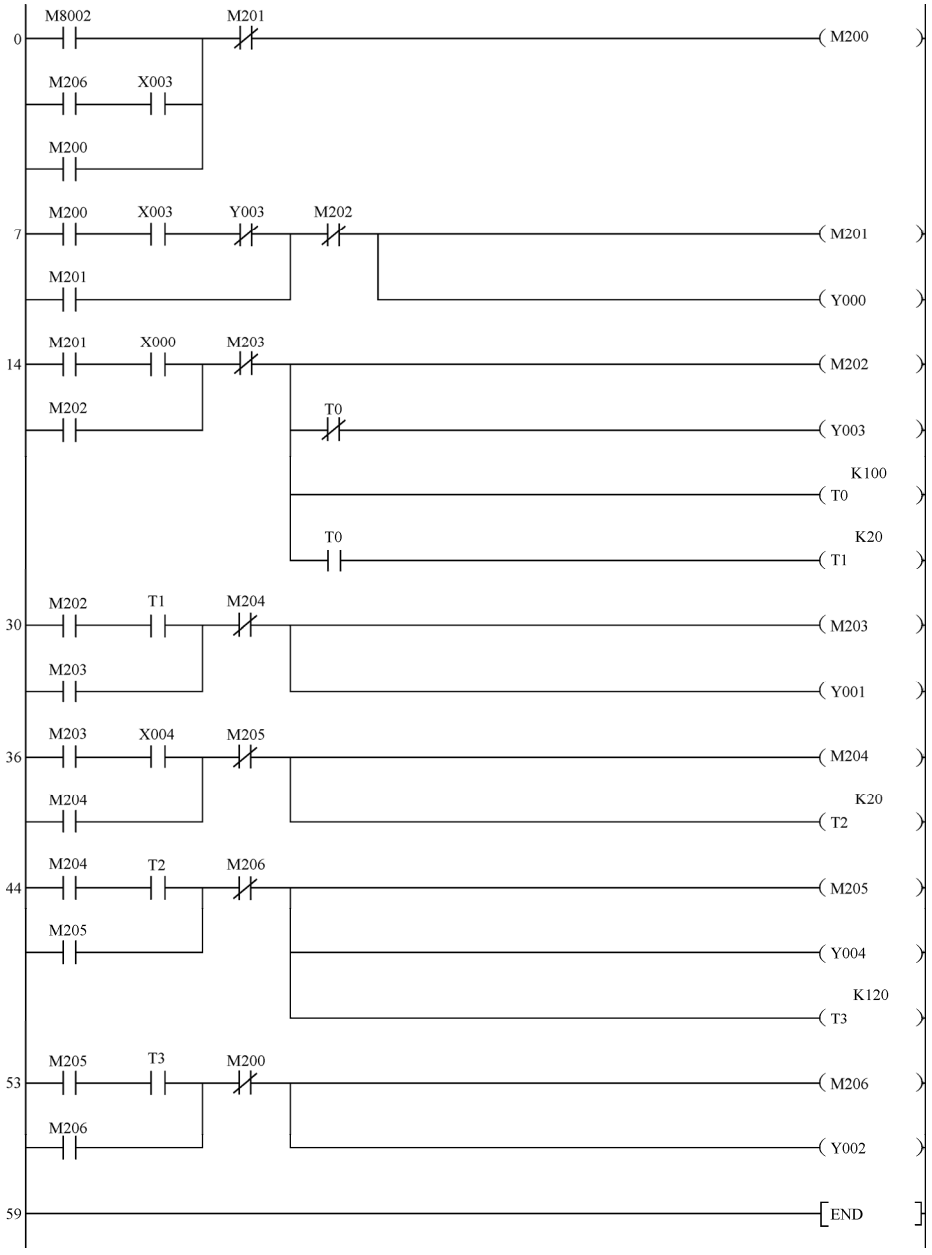


图 5-21　运料车启—保—停电路梯形图

在图 5-22 所示的以转换为中心的梯形图中，设 M_{i-1}= M200，由功能图 5-20（a）可知，M_i= M201，X_i=X003 · $\overline{Y003}$，因此将 M200 及 X003 常开触点和 Y003 的常闭触点相串联作为 M201 置位及 M200 复位的控制电路。其余状态的转换与此类似。

在图 5-23 所示的 STL 梯形图中，由顺序功能图 5-20（b）可知，当 S0 为活动步，并且 X003 的常开触点闭合及 Y003 常闭触点接通时，转换实现的两个条件同时成立，置位指令 SET S0 被执行，后续步 S20 变为活动步，同时 S0 自动复位为静态步。

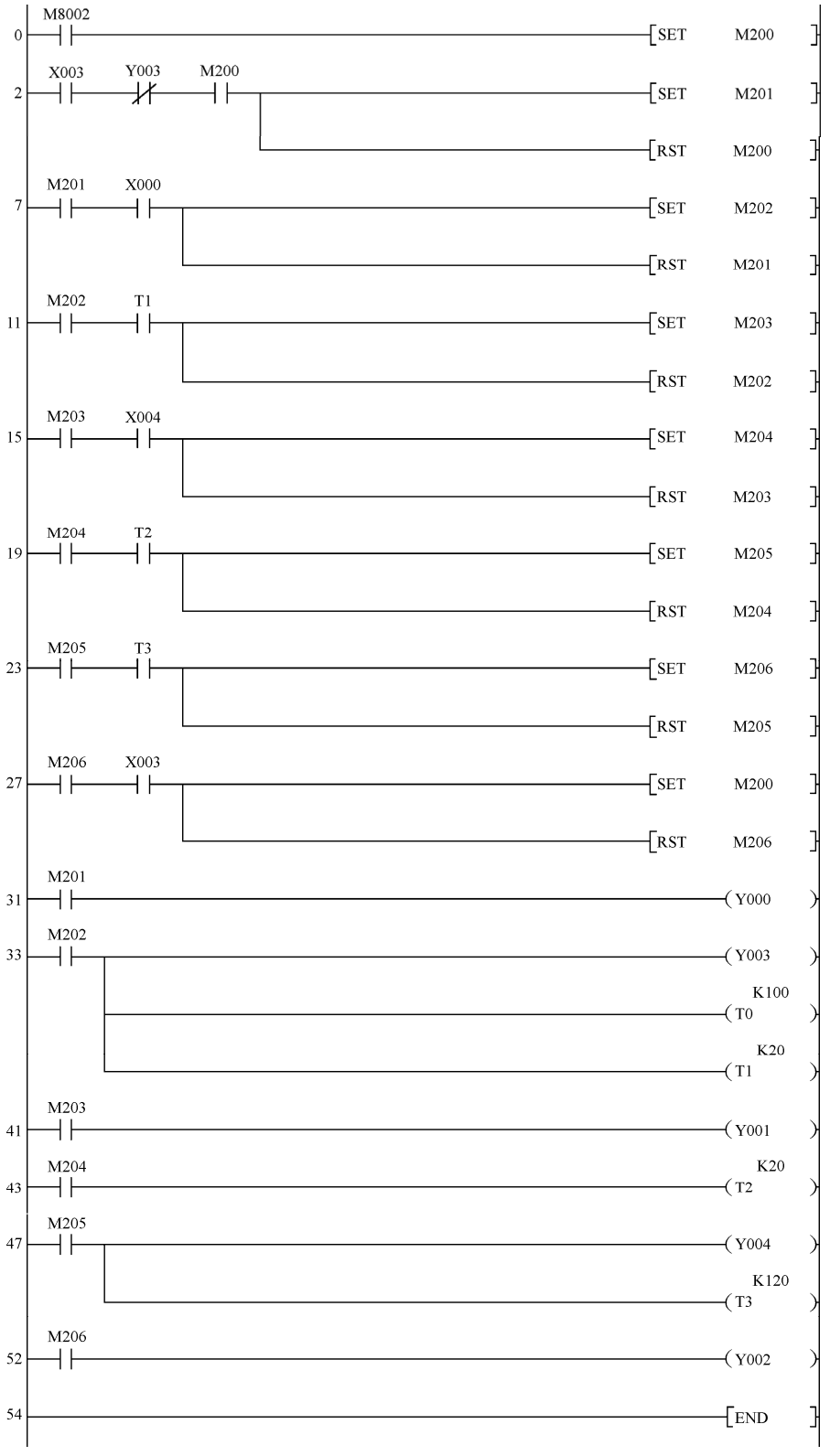


图 5-22　运料车以转换为中心的梯形图

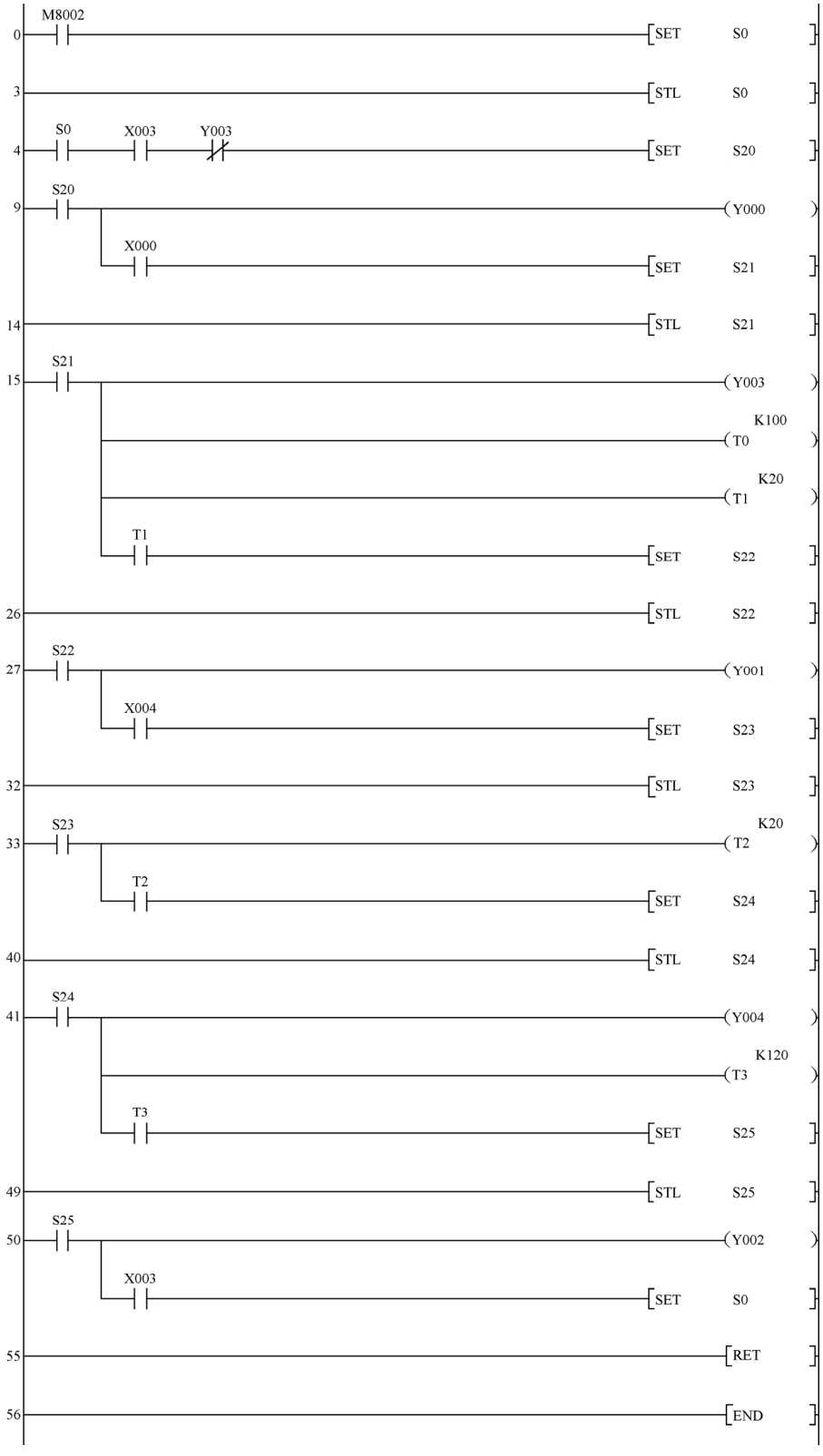


图 5-23　运料车 STL 指令梯形图

实例分析

单一序列编程方法中的关键是要找出某一步的启动和停止条件，在梯形图中的表现形式一般为前级步的常开触点、转换条件的常开触点、下级步的常闭触点及本级步的线圈串联。为了保持本级步的状态，一般还要加上本身的自锁触点。由于转换条件大多为短时信号，它的存在时间比激活的后续步为活动步的时间要短，因此应使用有记忆或保持功能的电路来控制代表步的辅助继电器。此外，也可用置位/复位（SET/RST）指令和 STL 指令等方法将功能图转换为梯形图程序，注意比较它们的异同。

实例 76：大、小球分类选择控制

实例说明

图 5-24 所示为将大、小球分类选择传送的机械。左上方为原点指示，其动作顺序为下降、吸住、上升、右行、下降、释放、上升、左行。此外，机械臂下降，当电磁铁接近球时，接近开关 PS0 接通。此时，下限位磁性开关 LS2 断开，则为大球；LS2 导通，则为小球。设计其状态转移图和梯形图。

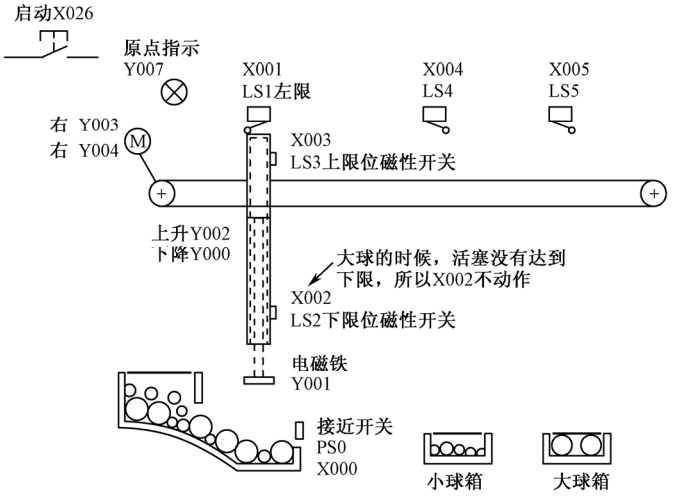


图 5-24　将大、小球分类选择传送的机械

实例实现

根据控制要求，可以得出图 5-25 所示的顺序功能图，当机械臂处于最左上端且电磁铁为释放状态时是原点位置，指示灯亮。当按下启动按钮时，系统开始工作，因区分大小球，故在步 M202（S21）后有一个选择序列的分支。

在图 5-26 所示的启—保—停电路梯形图中，当步 M203 或 M206 变为活动步时，步 M202 应转变为静态步，因此将 M203 和 M206 的常闭触点与 M202 的线圈串联，作为 M202 转变为静态步的条件；而在图 5-27 所示的以转换为中心的梯形图中，分支的置位、复位电

路是各自独立的，当步 M203 或 M206 变为活动步，并且相应的转换条件满足时，都需要一条单独的电路，在 M203 或 M206 置位的同时使 M202 复位。在图 5-28 所示的 STL 梯形图中，步 S21 后有两条分支，故对应在 S21 常开触点后有两条转换条件作为置位条件的电路并联。

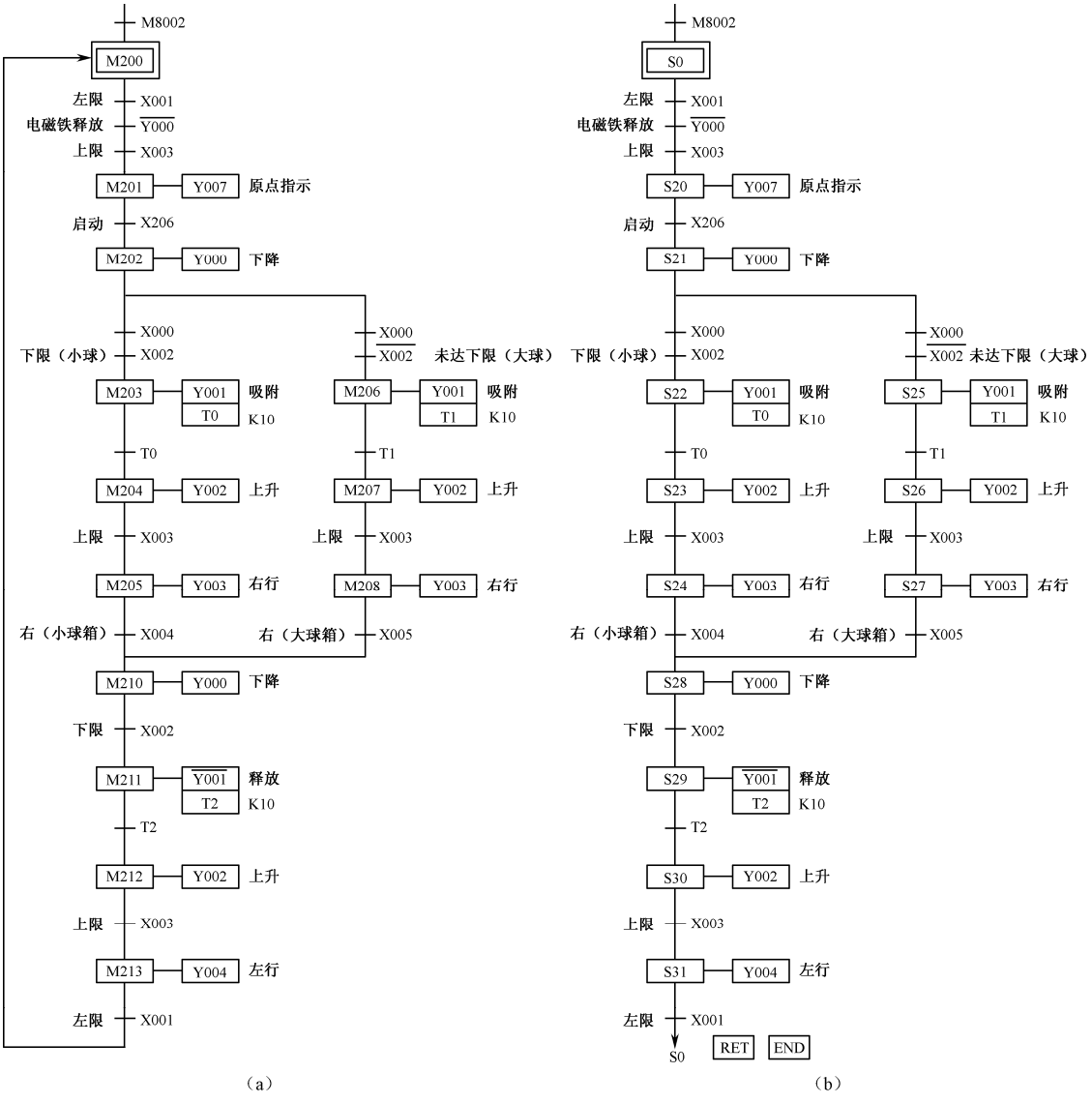


图 5-25　大、小球分选控制顺序功能图

当大、小球被放入各自球箱时，都有向下的下降动作，故在步 M210（S28）前有一个选择序列的合并，当步 M205（S24）为活动步且转换条件 X004 满足，或者 M208（S27）为活动步且转换条件 X005 满足时，步 M210（S28）都应变为活动步。

在如图 5-26 所示的启—保—停电路梯形图中，控制 M210 的启动、保持、停止电路的启动条件应为 M205 和 X004 的常开触点串联电路与 M208 和 X005 的常开触点串联电路进行并联；而在 5-27 所示以转换为中心的梯形图中，其控制电路与启—保—停梯形图中电路类似，

步 M205 或步 M208 向步 M210 的转换是分别进行的；在 5-28 所示的 STL 梯形图中，步 S24 或步 S27 向步 S28 转换的电路是各自独立的，它们是相互并列的关系。

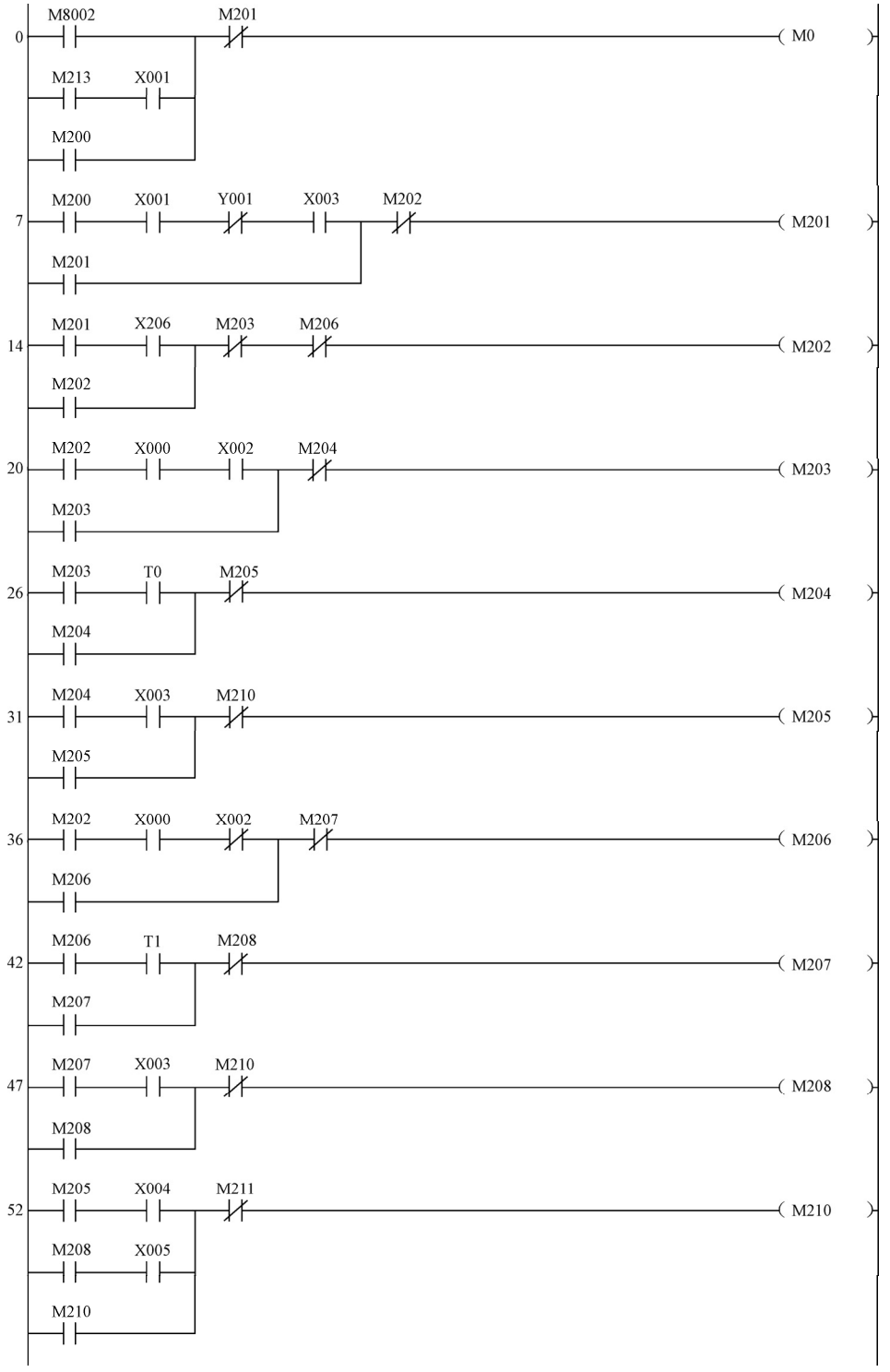


图 5-26　大小球分选控制启—保—停电路梯形图

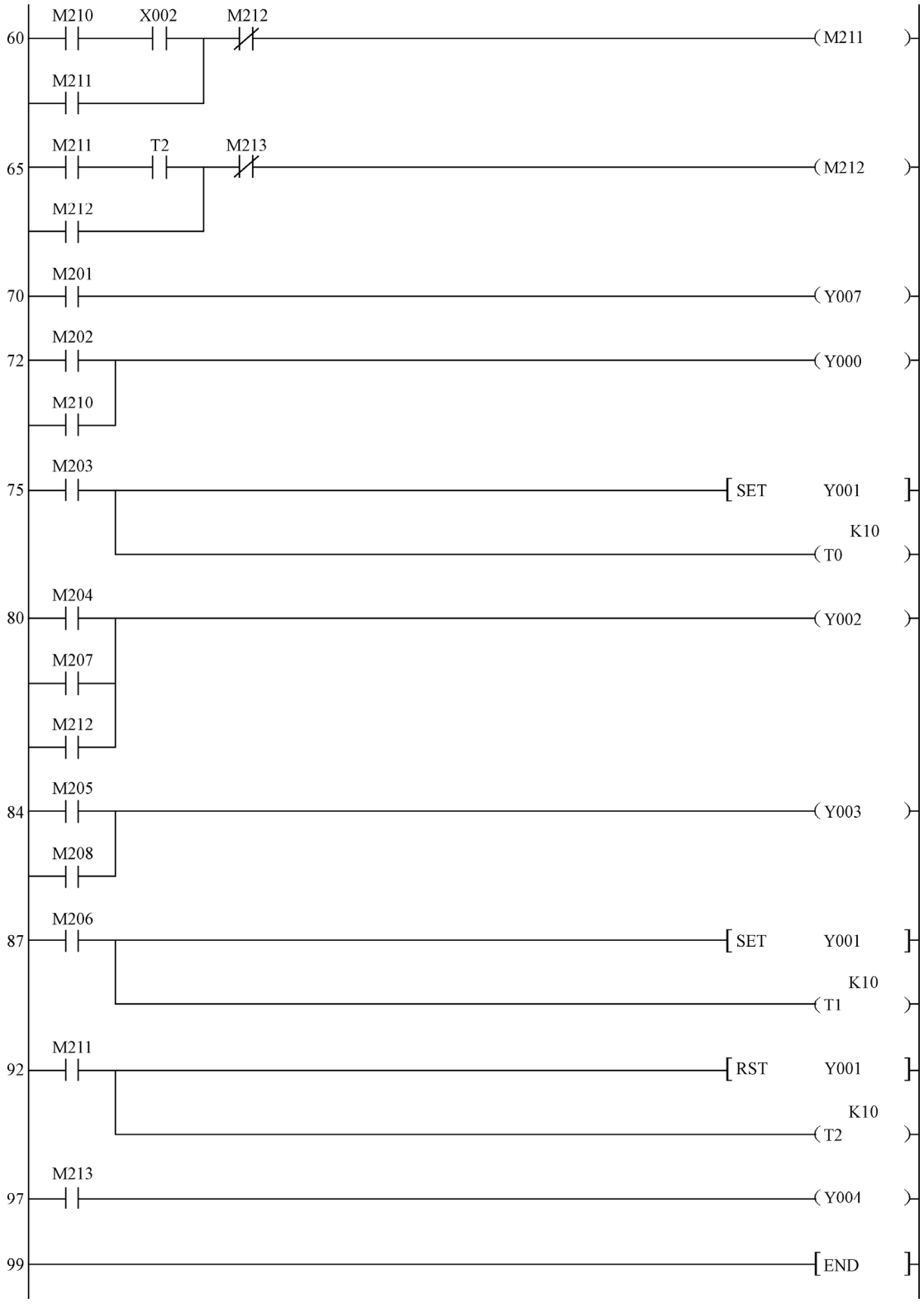


图 5-26　大小球分选控制启—保—停电路梯形图（续）

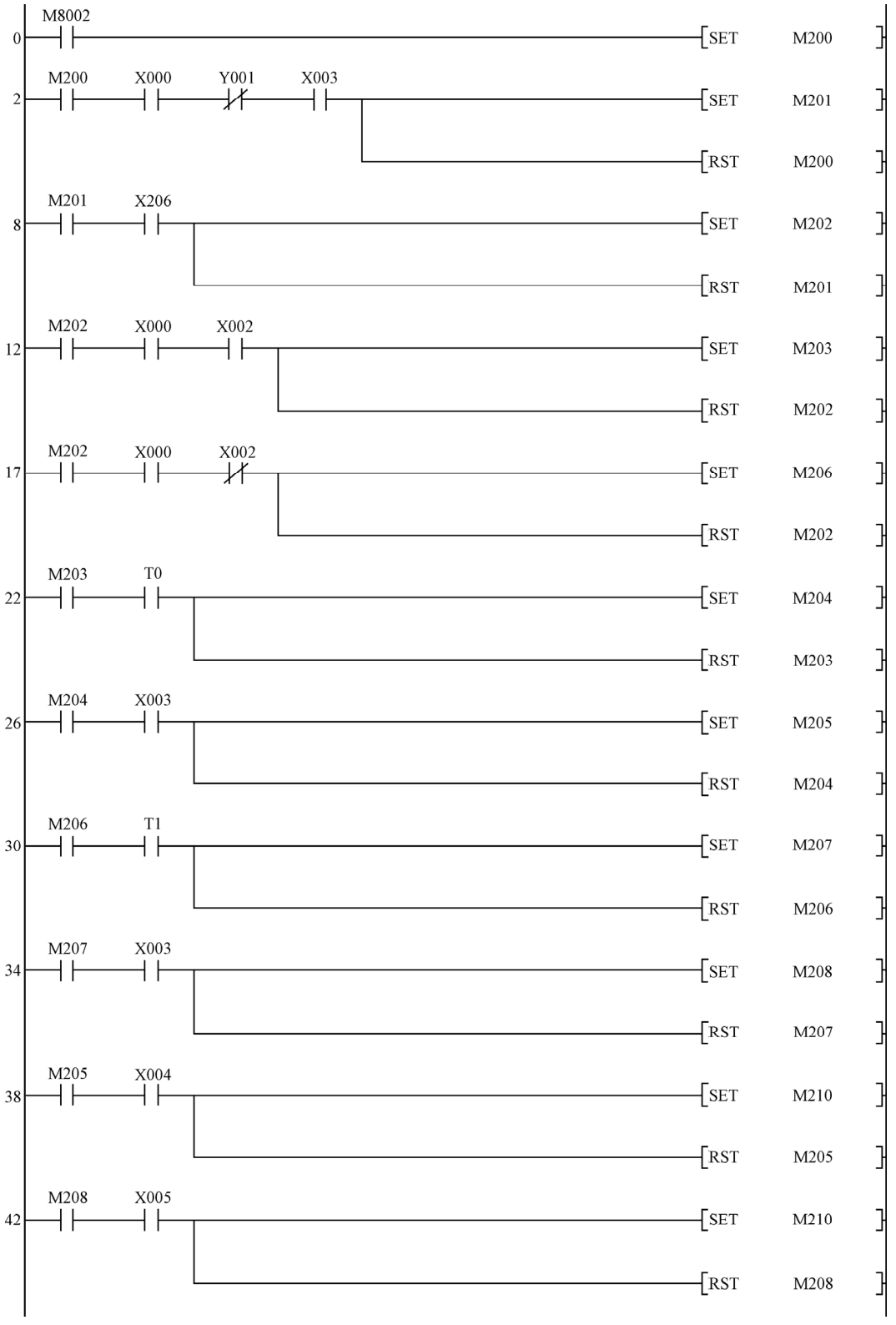


图 5-26　大小球分选控制启—保—停电路梯形图（续）

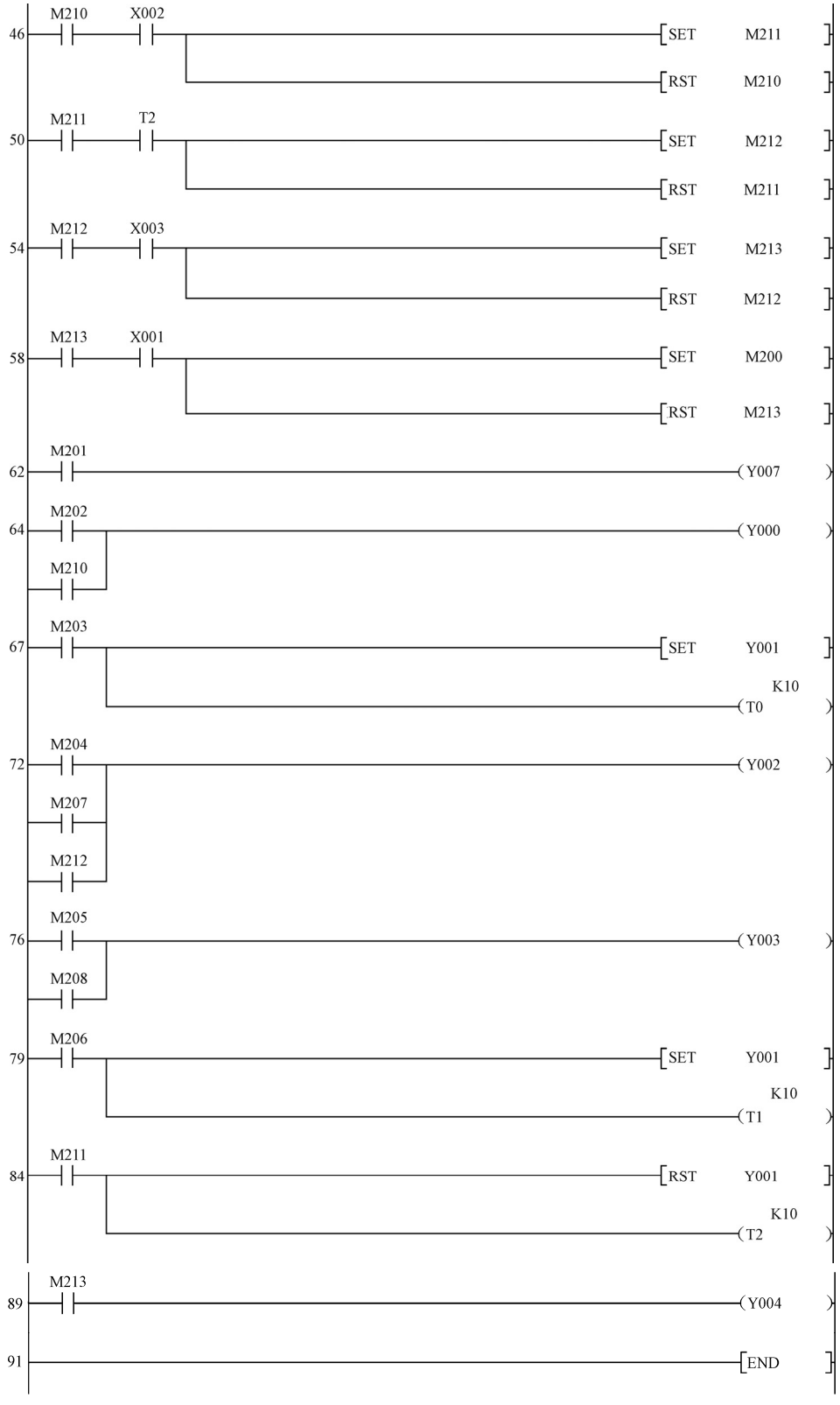


图 5-27　大小球分选控制以转换为中心的梯形图

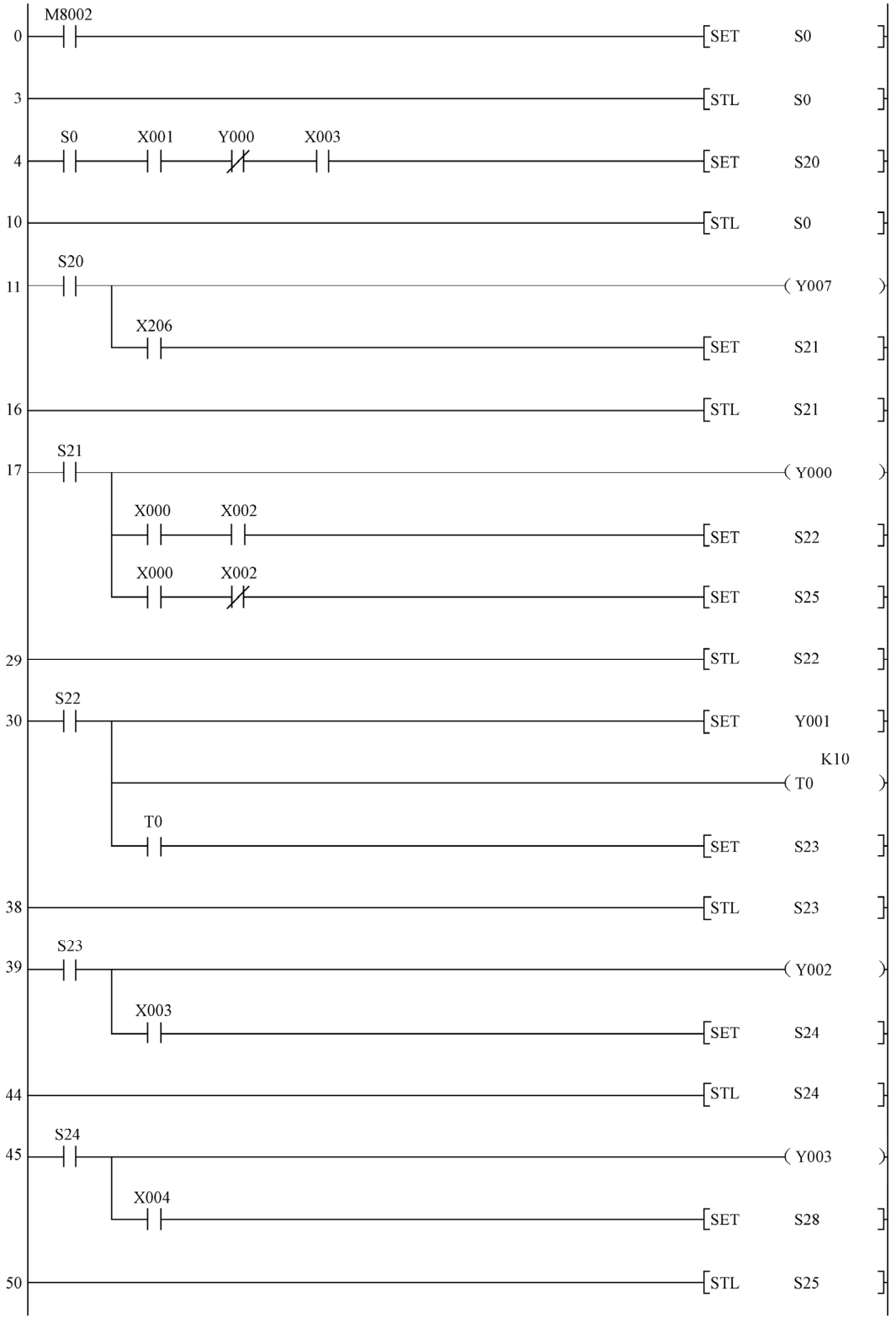


图 5-27　大小球分选控制以转换为中心的梯形图（续）

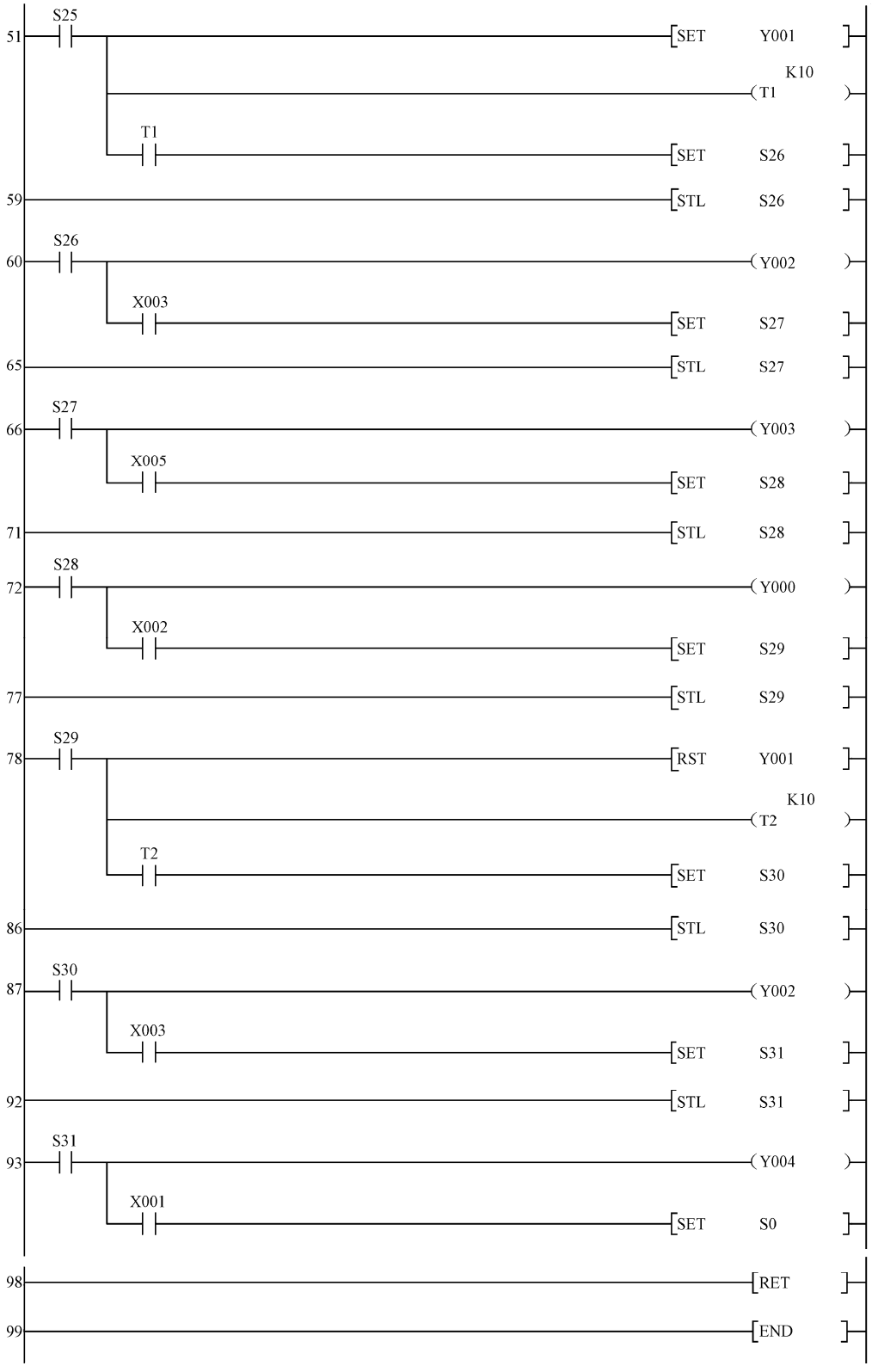


图 5-28　大小球分选控制 STL 指令梯形图

实例分析

本例以大小球分选控制给出了选择序列的顺序功能图及 3 种编程方法详细的梯形图。比较这 3 种梯形图可以看出，以转换为中心的梯形图语句数量较少，执行时间较短。从结构上看，启—保—停梯形图中每一步的转换都要用到下一步的常闭触点，因此触点数目较多；而以转换为中心的梯形图是以 SET、RST 指令完成步与步之间的转换，结构清晰，在分支与合并的处理上逻辑关系较简单；STL 指令梯形图中对分支与合并的处理与以转换为中心对分支与合并的处理相仿，**需要注意的是 STL 指令只能使用**一次。其实在设计梯形图时，没有必要特别留意选择序列的分支与合并如何处理，只要正确地确定每一步的转换条件和转换目标就能自然而然地实现选择序列的分支与合并。

实例 77：双面钻孔机床运动控制

实例说明

双面钻孔组合机床运动控制是典型的并行顺序控制序列。其运动路线如图 5-29 所示。当工件装入夹具后，按下启动按钮 X000，工件被夹紧，限位开关 X001 的状态变为 ON，并行序列中起始步 M2（S21）和 M6（S25）变为活动步，两侧的左右动力滑台完成快速进给、工作进给和快速退回的加工循环，同时刀具电动机也启动工作。两侧的加工均完成后，系统进入步 M10（S29），限位开关 X010 的状态变为 ON，系统返回初始步 M0（S0），动力滑台返回原位，一次加工的工作循环结束。

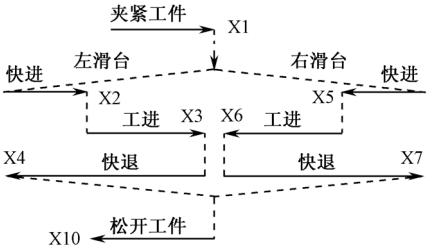


图 5-29　液压滑台运动路线

实例实现

液压滑台顺序功能图如图 5-30 所示。在顺序功能图中，并行序列的两个子序列分别表示左、右滑台的进给运动，两个子序列应同时开始工作并同时结束。事实上，左、右滑台返回并不是同步的，为了保证各子序列同时结束，在子序列的末尾增加了一个等待步（M5（S24）和 M9（S28）），它们就是所谓的虚拟步。如果两个子序列分别进入了这两步，就表示两侧滑台的快退均已结束（限位开关 X004 和 X007 均已动作），应转换到步 M10（S29），将工件松开。因此步 M5（S24）和步 M9（S28）之后的转换条件应为“=1”，表示无条件转换。

图 5-30（a）中步 M1 后有一个并行序列的分支，当 M1 为活动步且转换条件 X001 满足时，步 M2 和 M6 应同时变为活动步。在启—保—停电路的梯形图中，步 M1 和 X001 的常开触点及步 M2 和 M6 各自下一步的常闭触点相串联作为控制步 M2 和 M6 的启动条件，如图 5-31 所示；而在以转换为中心的梯形图中，M1 和 X001 的常开触点相串联，作为步 M2 和 M6 置位及步 M1 复位的条件，如图 5-32 所示。

图 5-30（a）中步 M10 前有一个并行序列的合并，当 M5 和 M9 都为活动步且转换条件满足时，转换实现。因为转换条件是“1”，即不需要转换条件，在启—保—停电路的梯形图

中，M10 的常闭触点作为步 M5、M9 停止的条件，M5、M9 及转换条件的常开触点和 M0 的常闭触点串联作为步 M10 启动的条件，如图 5-31 所示；而在以转换为中心的梯形图中，只需将 M5 和 M9 的常开触点串联，作为使 M10 置位和使 M5、M9 复位的条件，如图 5-32 所示。

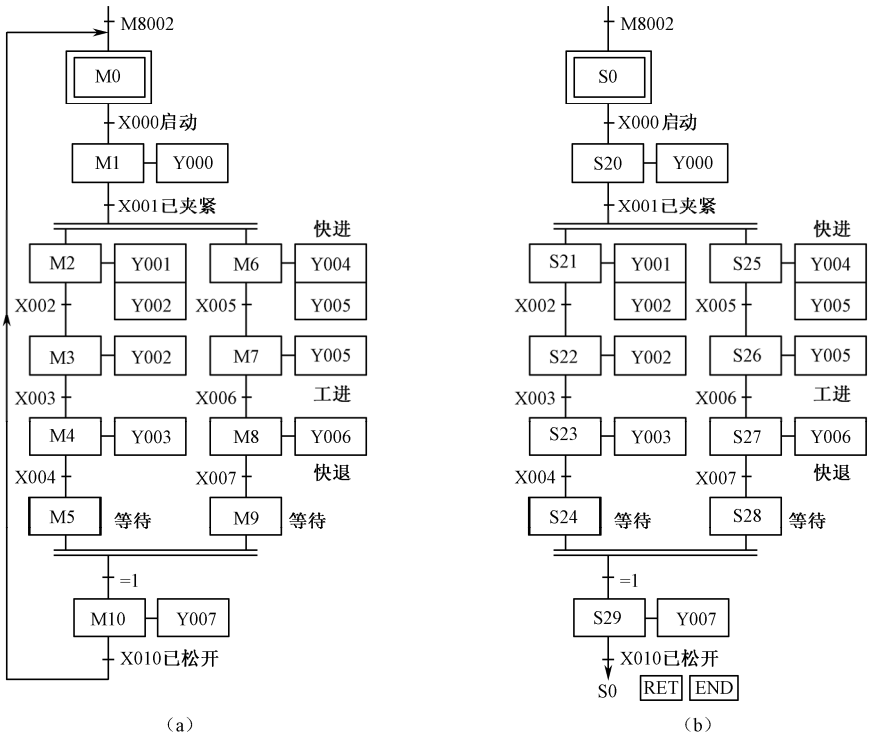


图 5-30　液压滑台顺序功能图

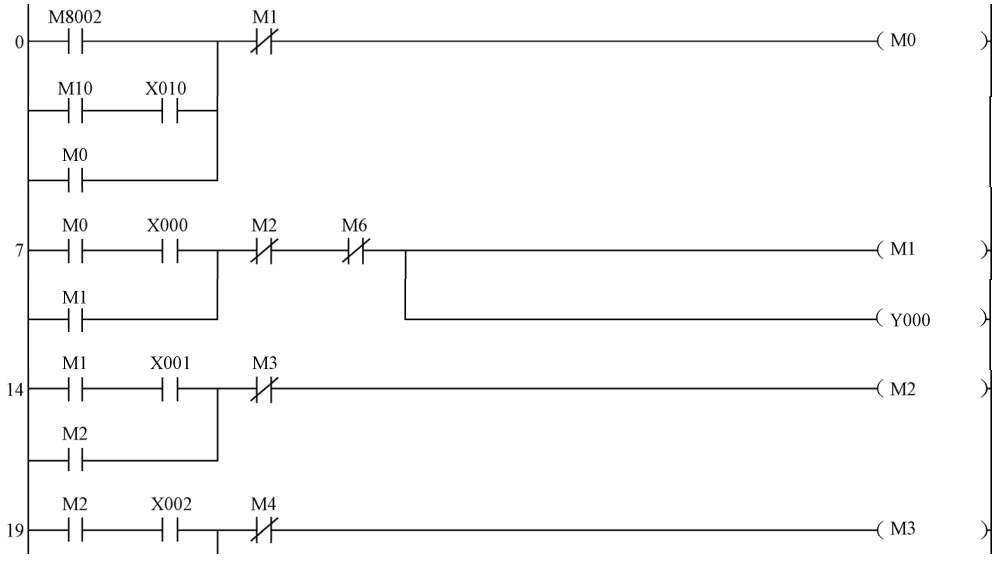


图 5-31　液压滑台启—保—停电路梯形图

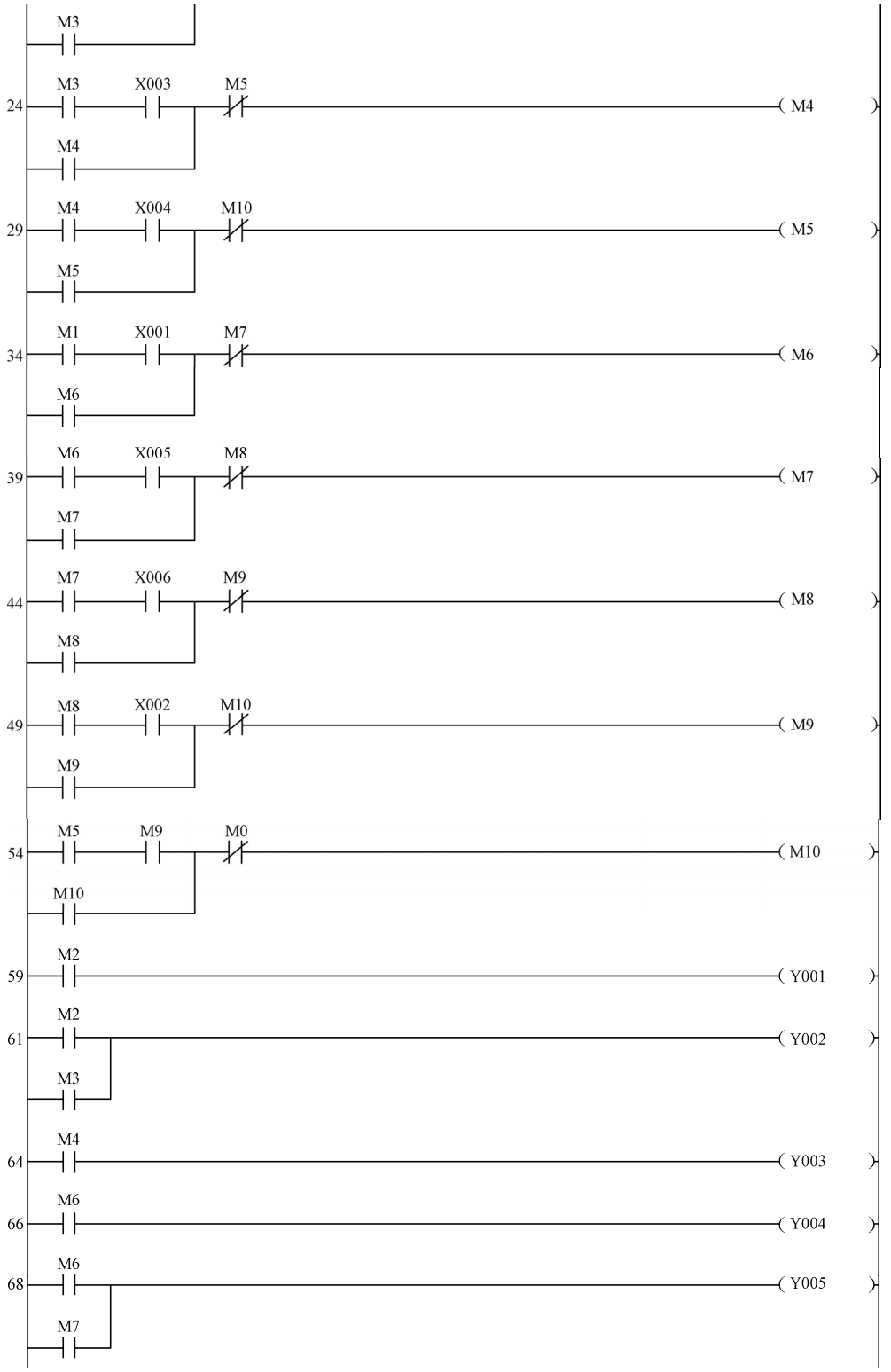


图 5-31　液压滑台启—保—停电路梯形图（续）

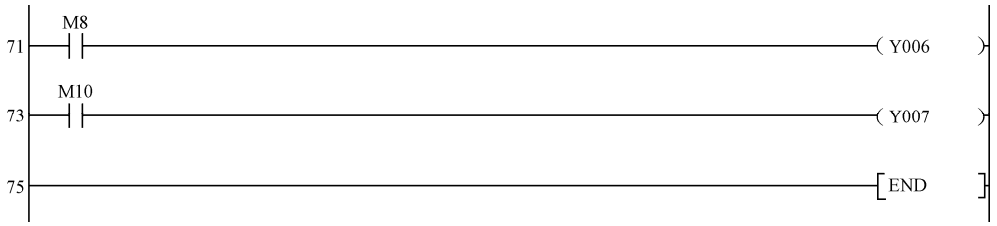


图 5-31　液压滑台启—保—停电路梯形图（续）

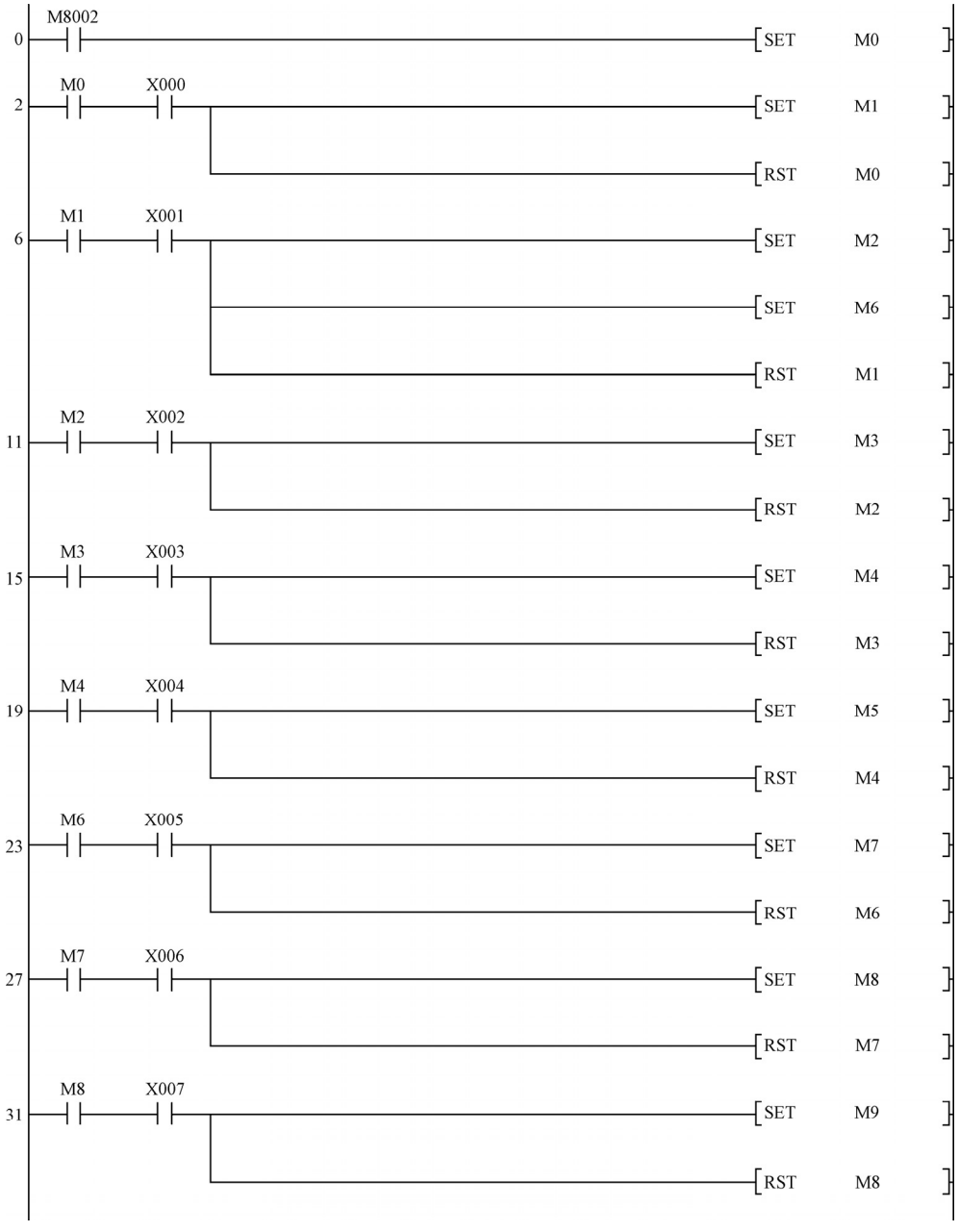


图 5-32　液压滑台以转换为中心的梯形图

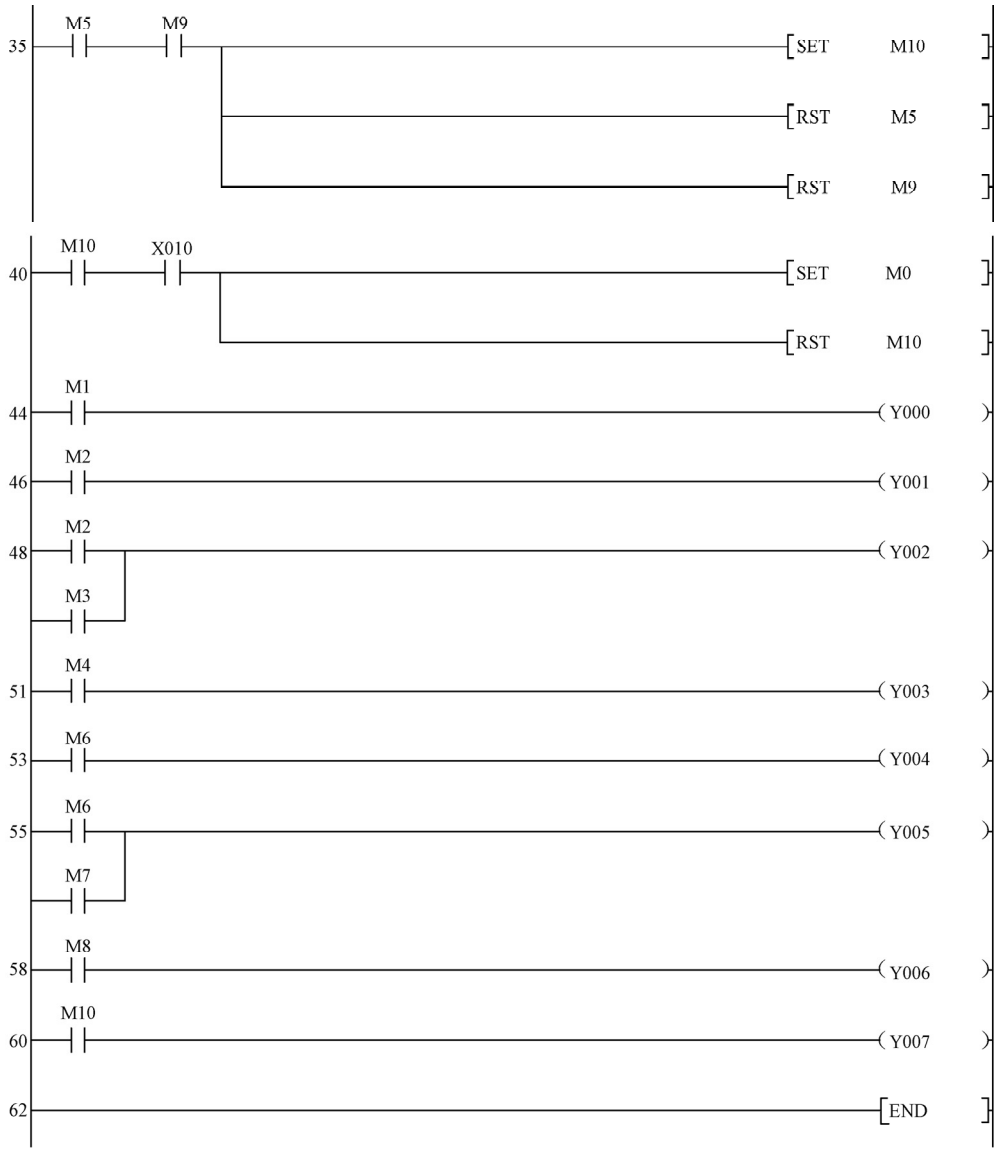


图 5-32　液压滑台以转换为中心的梯形图（续）

同理，在图 5-30（b）STL 梯形图的分支中，只要步 S20 为活动状态，并且转换条件满足，则步 S21、步 S25 同时变为活动步。因此将步 S20 的 STL 触点和 X001 的常开触点组成的串联电路来控制 SET 指令对步 S21 和步 S25 同时置位，同时系统将前级步 S20 自动复位，如图 5-33 所示；在图 5-30（b）STL 梯形图的合并中，只要步 S24、步 S28 同时为活动状态，并且转换条件满足，则步 S20 变为活动步。因此将步 S24、步 S28 的 STL 触点和转换条件（=1）的常开触点组成的串联电路来控制 SET 指令对步 S29 同时置位，同时系统将前级步 S24、步 S28 自动复位，如图 5-33 所示。

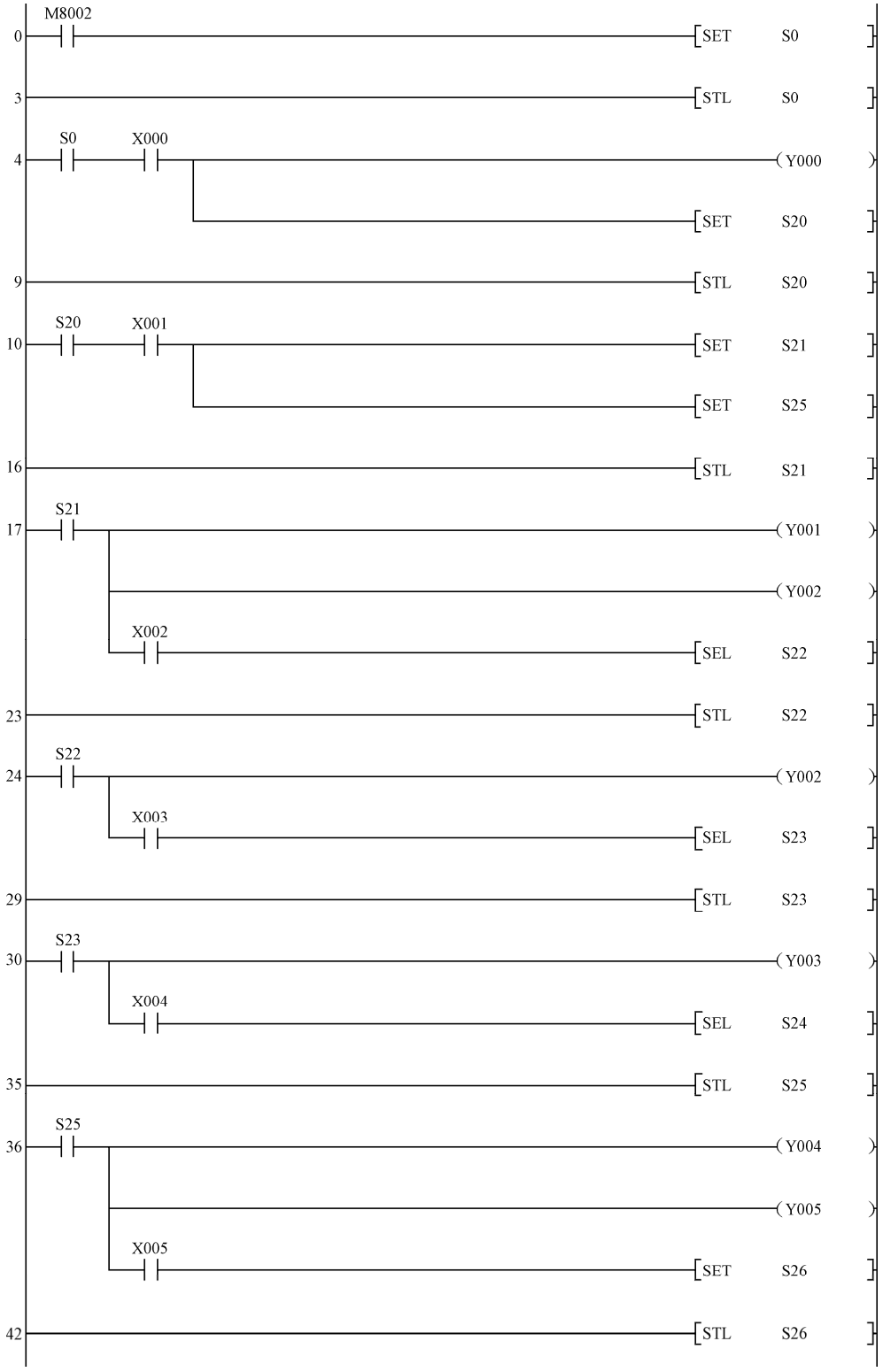


图 5-33　液压滑台 STL 指令梯形图

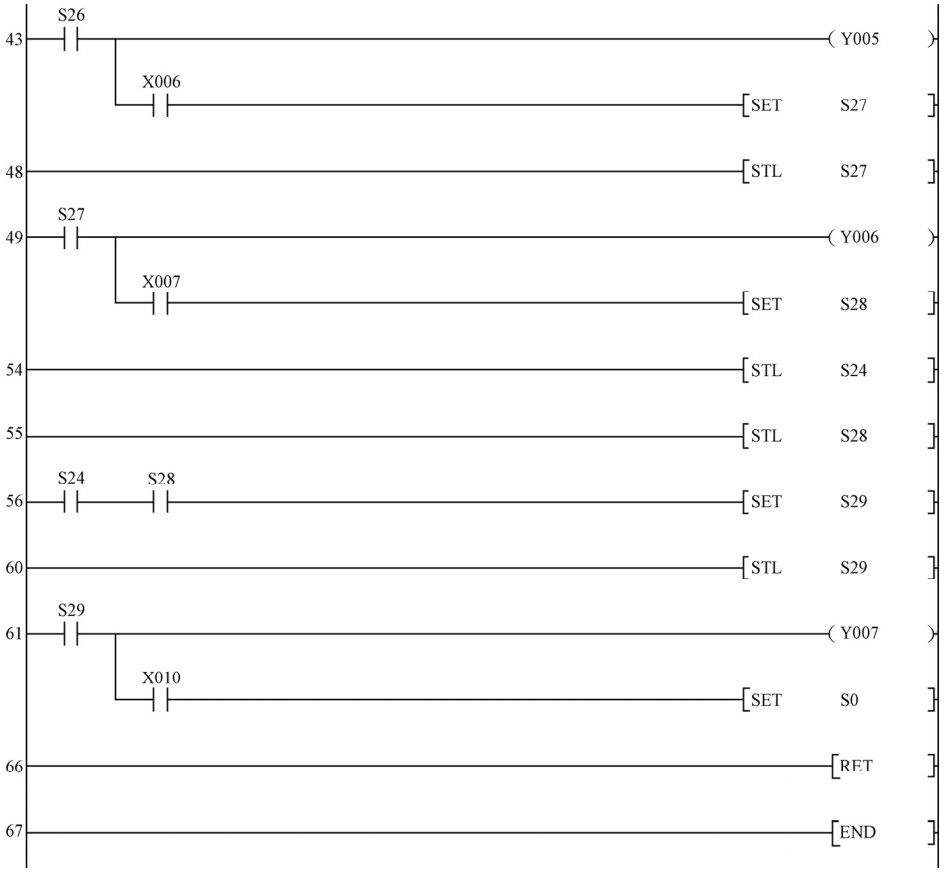


图 5-33　液压滑台 STL 指令梯形图（续）

实例分析

并行序列最大的特点是要求后续步同时实现转换，因此在顺序功能图中，并行序列的多个后续步对应同一个转换条件，而选择序列的多个后续步分别对应本身的转换条件。在 3 种类型的梯形图中，需注意与选择序列分支及合并的处理区别。此外，如果有一些分支、合并的顺序功能图没有中间状态，就需要在中间插入一个虚拟状态，以利于编程。

5.3　各种顺序控制方法比较

1．各种顺序控制方法设计的共同点

虽然各种顺序控制方法实现的途径各不相同，但它们有一些共同的特点。

（1）活动步的转换都是由输入继电器、定时器或计数器的信号控制代表各步的辅助继电器或状态继电器（包括由置位、复位指令控制的辅助继电器）实现的。

（2）输出继电器的线圈都是由辅助继电器或状态继电器的触点控制的，由此控制相对应的动作。

（3）各种顺序控制设计方法，无论是步的转移还是输出控制，都是有规律的电路结

构。不管要设计的顺序控制系统有多少步，也不管其输入、输出点数有多少，只要弄清楚各种设计方法所设计的梯形图结构的规律，根据转换实现的基本规则和各种编程方式的设计准则，套用其中的一种设计方法，就能快速地设计出较复杂的顺序控制梯形图。

2．各种顺序控制设计的不同点

（1）通用性。启—保—停电路编程方式只用到与线圈、触点有关的指令，各种型号的 PLC 都有此类的指令，因此使用启—保—停电路编程方式的通用性是最强的，可用于任意一种型号的 PLC。以转换为中心的编程方式需要使用置位、复位指令，各种信号的 PLC 一般也都有这样的指令，因此通用性也是较强的。而使用 STL、RET 指令的编程方式只能用于三菱公司生产的某些型号的 PLC，属于专用指令。

（2）电路结构。使用启—保—停电路编程方式以代表各步的编程元件为中心，用一个电路来实现这些编程元件的启动和停止。以转换为中心的编程方式直接、充分地体现了转换实现的基本规则，无论是单序列、选择序列还是并行序列，控制代表各步的辅助继电器的置位、复位电路的设计方法都是相似的。这种编程方式的思路清楚，程序层次清晰且容易理解和掌握，用来设计复杂系统的梯形图特别方便。使用 STL 指令的编程方式以 STL 触点为中心，STL 触点与系统的左右母线相连，当它们闭合时，驱动在该步应为“1”状态的输出继电器，为实现下一步的转移做好准备，同时通过系统程序可以自动地将前级步对应的编程元件复位。

思考题

1．简述顺序功能图中“步”、“路径”和“转换”间的关系。

2．状态器的作用是什么？

3．在顺序控制中，系统的一般步（除初始步之外）被触发的条件是什么？

4．简述状态转移图中步划分的原则。

5．简述状态转移图中转移实现的必要条件和充分条件。

6．试指出图 5-34 所示的状态转移图中的错误。

7．小车开始停在左边，限位开关 X0 为 1 状态。按下启动按钮后，小车开始右行，以后按图 5-35 所示的顺序运行，最后返回并停在限位开关 X0 处。画出顺序功能图，并用启—保—停设计法、置位复位设计法和 STL/RET 设计法设计梯形图。

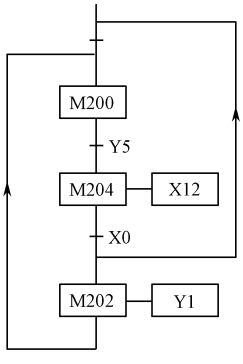


图 5-34　题 6 图

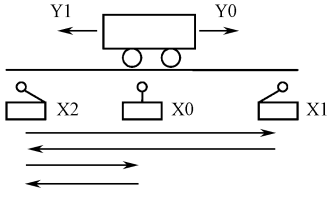


图 5-35　题 7 图

8．分别设计图 5-36（a）、（b）、（c）、（d）所示的状态转移图的梯形图程序。

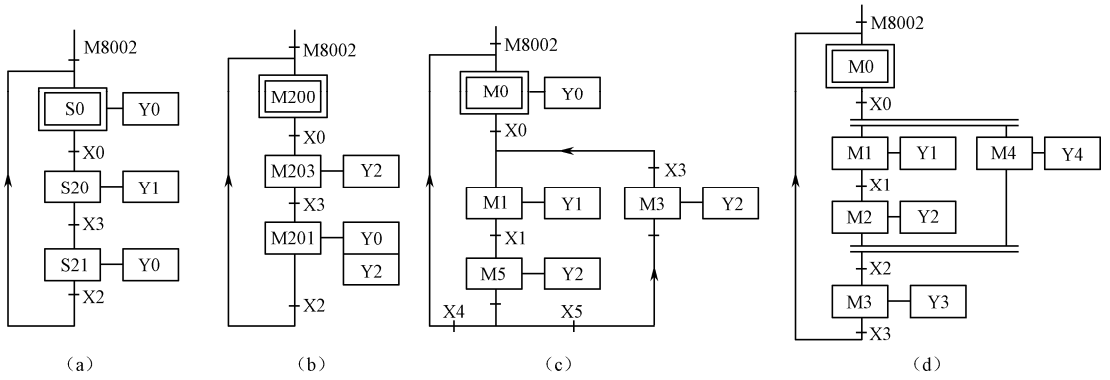


图 5-36　题 8 图

第 6 章　PLC 的功能模块

随着现代工业的高速发展，其自动化水平及控制规模越来越高，也越来越庞大。作为控制系统中的主要控制装置，PLC 所控制的对象也越来越多，内容也越来越复杂。甚至许多控制内容单凭通用 I/O 模块几乎无法实现。因此，为了增强 PLC 的功能，扩大其应用范围，许多 PLC 生产厂家都为自己的产品开发出了品种繁多的具有特殊功能的 I/O 接口模块，如数字量和模拟量 I/O 扩展模块、智能扩展模块、高速计数模块、定位控制模块、网络通信模块等。本章结合实例，针对常用的模拟量扩展模块、高速计数模块、定位控制模块、网络通信模块等进行介绍。

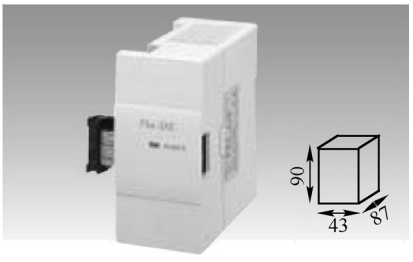
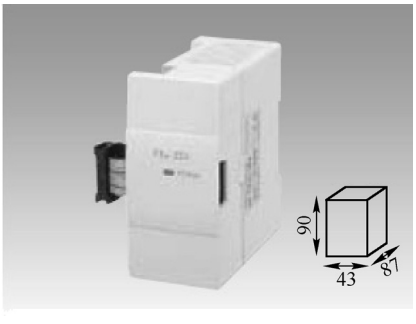
6.1　功能模块概述

6.1.1　特殊功能模块的类型及用途

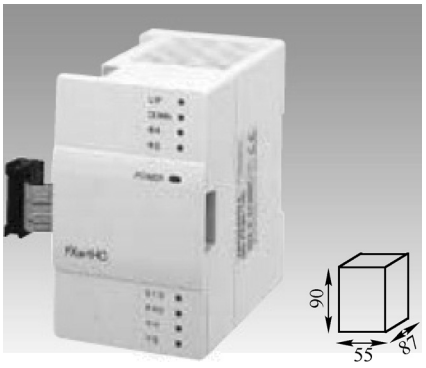
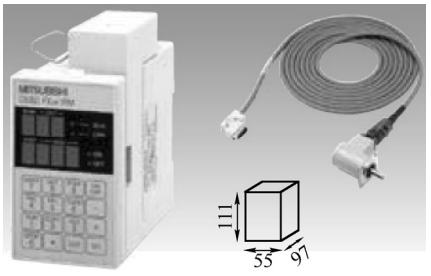
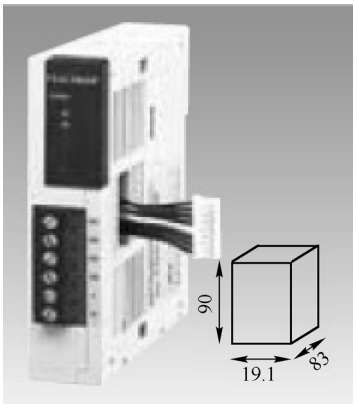
1．特殊功能模块的类型

特殊功能模块按其功能大致可分为 6 种类型，如表 6-1 所示。

表 6-1　特殊功能模块的类型

名　　称	模块形状与尺寸	特　　点
FX_{2N}—2AD 模拟量输入模块		（1）分辨率为 12 位二进制的高精度模拟量输入模块； （2）可进行 2 通道电压输入（DC 0～10V、DC 0～5V），或者电流输入（DC 4～20mA）
FX_{2N}—2AD 模拟量输出模块		（1）分辨率为 12 位二进制的高精度模拟量输出模块； （2）可进行 2 通道电压输出（DC 0～10V、DC 0～5V），或者电流输出（DC 4～20mA）； （3）可以对各通道分别指定电压或电流输出

续表

名　称	模块形状与尺寸	特　点
FX_{2N}—1HC 高速计数模块		（1）可通过单相、双相 50kHz 硬件计数器高速输入； （2）带有采用硬件比较回路的高速一致输出功能； （3）在双相计数中，可以设定 1、2、4 倍增模式； （4）可以通过 PLC 或外部输入来许可、复位计数； （5）可以连接差动输出型的编码器
FX_{2N}—1RM—SET 可编程凸轮开关		（1）旋转角度检测单元受机械凸轮开关控制，使用专用的分解器探测转动角度，实现高精度的转动位置控制； （2）使用的设定单元可以方便地实现动作角度的设定和监视显示； （3）转动角的检测可以精确到 415rpm/0.5° 或 830rpm/1.0° 单位的高精度
FX_{2NC}—485 型 RS—485 通信特殊适配器		（1）隔离型 RS—485 通信适配器； （2）仅用该设备就可以构成 N:N 网络、并联连接

2．特殊功能模块的用途

（1）模拟量输入/输出模块。在实际的控制中，一些控制对象的输入量是连续变化的模拟量（如温度、流量等），而另外一些对象则要求 PLC 对其输出模拟信号（如调节阀、伺服电动机等）进行处理。由于 PLC 的 CPU 只能处理数字量，因此 PLC 为满足上述控制的需要，必须能够实现模拟量与数字量之间的转换。模拟量输入/输出模块的主要用途就是完成 A/D 转换（模拟信号的输入）和 D/A 转换（模拟信号的输出）。

（2）高速计数器模块。PLC 中的程序计数器受扫描周期的限制，其最高工作频率一般仅有几十赫兹。难以满足控制中对诸如来自旋转编码器、机械开关等数十甚至上百千赫的脉冲计数。高速计数器模块就是为满足这一要求而设计的。

（3）定位控制模块。这类模块使运动控制与 PLC 的顺序控制功能有机地结合起来，实现对运动物体的位置、速度和加速度的控制。

（4）旋转角度检测模块。旋转角度检测模块主要用于替代之前的机械式凸轮开关对外部负载的通、断控制。机械式凸轮开关加工精度低，易于磨损，而旋转角度检测模块则可实现高精度的角度检测。它可以与 FX_{2N} PLC 基本单元连接，也可以单独使用。

（5）通信接口模块。通信接口模块主要用来完成与其他 PLC、主计算机及其他智能设备之间的通信。

（6）编程设备与人机接口。编程器用来生成用户程序，并对它进行编辑、检查和修改。某些编程器还可以将用户程序写入 EPROM 或 E^2PROM 中，各种编程器还可以用来监视系统运行情况。人机接口是指 PLC 所配备的各种显示模块和图形操作终端，用于监视和修改 T、C 的当前值和设定值，监视和修改 D 的当前值。

FX_{2N} 系列 PLC 常用的特殊功能模块如表 6-2 所示。

表 6-2　FX_{2N} 系列 PLC 常用的特殊功能模块

名　称	型　号	名　称	型　号
模拟量输入模块	FX_{2N}—2AD	高速计数模块	FX_{2N}—1HC
模拟量输入模块	FX_{2N}—4AD	脉冲发生器模块	FX_{2N}—1PG
模拟量输入模块	FX_{2N}—8AD	定位控制单元	FX_{2N}—10GM
温度输入模块	FX_{2N}—4AD—PT	定位控制单元	FX_{2N}—20GM
温度输入模块	FX_{2N}—4AD—TC	通信接口	FX_{2N}—232—BD
模拟量输出模块	FX_{2N}—2DA	通信接口	FX_{2N}—485—BD
模拟量输出模块	FX_{2N}—4DA	通信接口	FX_{2N}—422—BD
温度控制模块	FX_{2N}—2LC	接口模块	FX_{2N}—2321F

6.1.2　特殊功能模块的安装及应用

1．模块的连接

PLC 基本单元（FX_{2N}—48MR）与特殊功能模块（如 FX_{2N}—2AD、FX_{2N}—4AD 等）的连接通过扩展总线实现，它们之间通过 FROM/TO 命令来实现数据的通信。每个 PLC 基本单元最多可连接 8 台功能模块（不包括 PLC 的扩展单元）。每个特殊功能模块都有一个确定的地址编号，使得 PLC 能够准确找到指定功能模块。编号的方法是由最靠近 PLC 基本单元的那一个功能模块开始顺次编号，对应的编号为 0～7，当各控制单元连接好后，各特殊功能模块的编号也就确定了，如图 6-1 所示。

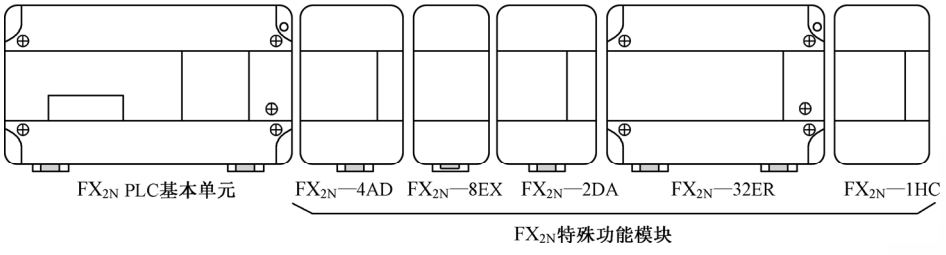


图 6-1　FX_{2N}—48MR 功能模块连接示意图

2．FX_{2N} 系列 PLC 与特殊功能模块之间的读/写操作

FX_{2N} 系列 PLC 与特殊功能模块之间的数据传输和参数设置都是通过 FROM/TO 指令实现的。其中，FROM 指令用于 PLC 基本单元读取特殊功能模块中的数据；TO 指令用于 PLC 基本单元将数据写到特殊功能模块中。读/写操作都是针对特殊功能模块的缓冲寄存器 BFM 进行的。

（1）读指令 FROM。读特殊功能模块指令 FROM 的功能指令编号为 FNC78，目标操作数为 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，16 位运算占用 9 个程序步，32 位运算占用 17 个程序步，如表 6-3 所示。

表 6-3　特殊功能模块读指令

指令名称	助 记 符	指令代码	操　作　数				程序步
			[m1]	[m2]	[D]	[n]	
读指令	FROM	FNC78	K、H [m1]=0～7	K、H [m2]=0～31	KnY,KnM, KnS,T,C,D,V,Z	K、H [n]=1～32	16 位:9 步 32 位:17 步

表中，[m1]为特殊功能模块号，[m1]=0～7；[m2]为特殊功能模块的缓冲寄存器（BFM）首元件编号，[m2]=0～31；[D]指定存放在 PLC 中的数据寄存器首元件号；[n]指定特殊功能模块与 PLC 之间传送的字数，16 位操作时[n]=1～32，32 位操作时[n]=1～16。

（2）写指令 TO。写特殊功能模块指令 TO 的功能指令编号为 FNC79，该指令是将 PLC 中指定的以 S 元件为首地址的[n]个数据，写到编号为[m1]的特殊功能模块，并存入该特殊功能模块中以[m2]为首地址的缓冲寄存器（BFM）内，其源操作数可取所有的数据类型。指令占有的步数与读特殊功能模块指令相同，如表 6-4 所示。

表 6-4　特殊功能模块写指令

指令名称	助记符	指令代码	操　作　数				程序步
			[m1]	[m2]	[S]	n	
读指令	TO	FNC79	K、H [m1]=0～7	K、H [m2]=0～31	KnY,KnM, KnS,T,C,D,V,Z,K,H	K、H [n]=1～32	16 位:9 步 32 位:17 步

表中，[m1]为特殊功能模块号，[m1]=0～7；[m2]为特殊功能模块的缓冲寄存器（BFM）首元件编号，[m2]=0～31；[S]指定存放在 PLC 中的数据寄存器首元件号；[n]指定特殊功能模块与 PLC 之间传送的字数，16 位操作时[n]=1～32，32 位操作时[n]=1～16。

6.2　模拟量输入模块

FX_{2N} 系列 PLC 模拟量输入模块主要有 FX_{2N}—2AD、FX_{2N}—4AD 和 FX_{2N}—8AD 三种电压/电流模拟量输入模块，以及两种温度传感器模拟量输入模块 FX_{2N}—4AD—PT 和 FX_{2N}—4AD—TC。

1．模拟量输入模块 FX_{2N}—4AD

FX_{2N}—4AD 是有 4 个 12 位模拟量输入通道的模拟量输入模块。输入量程为 DC –10～+10V 和 DC –20～20mA，转换速度为 15ms/通道或 6ms/通道。它可以将模拟电压或电流转

换为最大分辨率为 12 位的数字量，并以二进制补码方式存入内部 16 位缓存寄存器中，通过扩展总线与 FX_{2N} 基本单元进行数据交换，具体技术指标如表 6-5 所示。

表 6-5　FX_{2N}—4AD 的技术指标

项　　目	电 压 输 入	电 流 输 入
	4 通道模拟量输入，通过输入端子变换可选电压或电流输入	
模拟量输入范围	DC –10～+10V，最大±15V	DC –20～+20mA，最大±32mA
数字量输出范围	带符号位的 16 位二进制（有效数值 11 位）。数值范围为–2048～+2047	
分辨率	5mV（10V×1/2000）	20μA（20mA×1/1000）
综合精度	±1%（–10～+10V）	±1%（–20～+20mA）
转换速度	每通道 15ms（高速转换方式为每通道 6ms）	
隔离方式	模拟量与数字量间用光隔离；基本单元来的电源经 DC/AC 转换器隔离；各输入端子间不隔离	
模拟量用电源	24（1±10%）VDC，55mA	
占有的 I/O 点数	8 点（作输入或输出点计算），由 PLC 供电的消耗的功率为 5V、30mA	

2．FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块的连接

FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块的连接如图 6-2 所示。

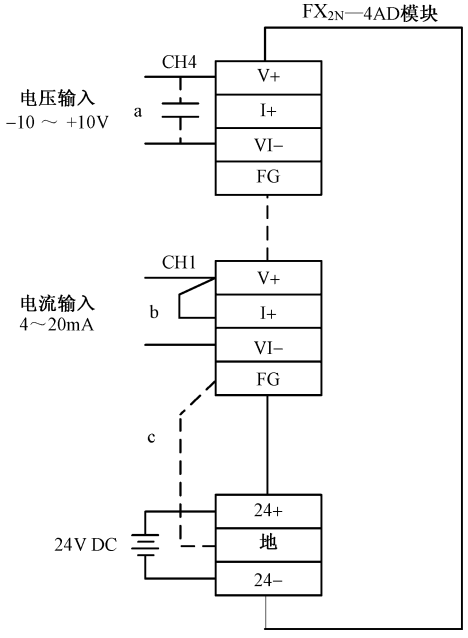


图 6-2　FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块的连接

FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块的模拟输入信号由双绞屏蔽电缆接收。若输入电压有波动或外部接线有干扰，可在 V+与 VI–端之间接入一个 0.1～0.47μF、25V 的电容，如图 6-2 中的 a 处所示。当使用电流输入时，需将 V+与 I+端短接，如图中 6-2 中的 b 处所示。若存在过多的电气干扰，则需将 FG 端和 FX_{2N}—4AD 的接地端相连，如图中 6-2 中的 c 处所示。

FX_{2N}—4AD 模块在使用中，将消耗 FX_{2N} 基本单元或有源扩展单元的+5V DC 电源（内

部电源，30mA）、+24V DC（外部电源，55mA）。其通常转换速度为 15ms/通道，高速转换速度为 6ms/通道。

3．FX_{2N}—4AD 缓冲寄存器（BFM）及设置

FX_{2N}—4AD 模块共有 32 个缓冲寄存器，每个缓冲寄存器为 16 位 RAM。但实际用来与 FX_{2N} 基本单元进行数据交换的只有 21 个 BFM，如表 6-6 所示。

表 6-6　FX_{2N}—4AD 模块 BFM 分配表

BFM	内　　容								
#0	通道初始化默认值为 H0000								
#1	CH1	平均值取样次数（取值范围为 1～4096），默认值为 8							
#2	CH2								
#3	CH3								
#4	CH4								
#5	CH1	分别存放 4 通道平均值							
#6	CH2								
#7	CH3								
#8	CH4								
#9	CH1	分别存放 4 通道的当前值							
#10	CH2								
#11	CH3								
#12	CH4								
#13 #14	保留								
#15	A/D 转换速度的设置	当设置为 0 时，A/D 转换速度为 15ms/通道，为默认值							
		当设置为 1 时，A/D 转换速度为 6ms/通道，为高速值							
#16～#19	保留								
#20	恢复到默认值或调整值，默认值为 0								
#21	禁止零点和增益调整，默认值为（0，1）（允许）								
#22	零点（Offset），增益（Gain）调整	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
		G4	O4	G3	O3	G2	O2	G1	O1
#23	零点值，默认值为 0								
#24	增益值，默认值为 5000								
#25～#28	保留								
#29	出错信息								
#30	识别码 K2010								
#31	不能使用								

（1）BFM #0：0 号 BFM 用于通道的选择。4 个通道的模拟输入信号范围用 4 位十六进制数表示。其中，十六进制数字“0～3”分别表示“–10～+10V、4～20mA、–20mA～

+20mA、通道关闭”。例如，若 BFM #0 中的 4 位十六进制数为“H3310”，则表示 FX_{2N}—4AD 模块的 1 通道（CH1）的模拟输入信号范围为–10～+10V，通道 2（CH2）的模拟输入信号范围为 4～20mA，通道 3、通道 4 关闭。

（2）BFM #1～#4：用于设定 1～4 通道的采样次数（设定范围为 1～4096），默认值为 8。

（3）BFM #5～#8：用于存放 1～4 通道采样平均值。

（4）BFM #9～#12：用于存放 1～4 通道采样当前值。

（5）BFM #15：用于选择 A/D 转换速度。若设定为 0，则选择正常转换速度，即 15ms/通道；若设定为 1，则选择高速转换速度，即 6ms/通道。

（6）BFM #20：若设定为 1，则模块的所有设置均将复位成默认值。BFM #20 的默认值为 0，用它可以快速消除不希望的增益和偏置值。

（7）BFM #21：BFM #21 的（b1，b0）两位若设为（1，0），则禁止调整增益和偏置；若 BFM #21 的（b1，b0）两位若设为（0，1）（默认值），则可改变增益和偏置。偏置即数字量输出为零时的模拟输入值。增益即数字量输出为+1000 时的模拟输入值。

（8）BFM #22：第 b0～b7 位分别用来指定偏置和增益待调整的输入通道。例如，若 BFM #22 的（b1，b0）两位设为（1，1），则调整通道 1；若（b3，b2）的两位设为（1，1），则调整通道 2。

（9）BFM #23：偏置值，单位 mA 或 mV，默认值为 0。

（10）BFM #24：增益值，单位 μA 或 mV，默认值为 5000。

（11）BFM #29：错误状态信息。其中，当 b0 为 ON，表示有错误；b1 为 ON，表示存在偏置或增益错误；b2 为 ON，表示有电源故障；b3 为 ON，表示存在硬件错误；当 b10 为 ON 时，说明数字输出值超出范围；b11 为 ON，表明平均采样不在 1～4096 之间；b12 为 ON 或 OFF 时，表示禁止或允许 BFM#21（b1，b0）设为（1，0），当 b0～b3、b10、b11 位为 OFF 时表示正常，其余各位暂未定义。

（12）BFM #30：存储 FX_{2N}—4AD 模块的识别码，可以通过 FROM 指令读出。

上述缓冲寄存器中，BFM #0～#4 及 BFM #20～#24 可使用 TO 指令将设定值写入相应的缓冲寄存器中。

4．其他模拟量输入模块

FX_{2N}—2AD 是一个有两个 12 位模拟量输入通道的模拟量输入模块。输入量程为 DC 0～10V、0～5V 和 DC 4～20mA，转换速度为 2.5ms/通道。

FX_{2N}—8AD 为 8 通道 16 位模拟量输入通道的模拟量输入模块。输入量程为 DC –10～+10V 和 DC –20～+20mA。

FX_{2N}—4AD—PT 主要与三线铂电阻 PT—100 配套使用，具有 4 个 12 位模拟量输入通道。其驱动电流为 1mA，恒流；额定温度范围为–100～+600℃，精度为 0.2～0.3℃；输出数字量为–1000～+6000；转换速度 15ms/通道。

FX_{2N}—4AD—TC 为 4 通道 12 位模拟量输入通道的模拟量输入模块。与 K 型和 J 型热电偶配套使用，K 型的输出数字量为–1000～+12 000，J 型的输出数字量为–1000～+6000。K 型的分辨率为 0.4℃，J 型的分辨率为 0.3℃；转换速度 240 ms/通道。

上述模块的模拟电路和数字电路之间均有光隔离，在程序中占有 8 个 I/O 端子。

实例 78：FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块应用

实例说明

在图 6-1 所示的 FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块连接中，仅开通 CH1 和 CH2 两个通道作为电压量输入通道，计算 4 次取样的平均值，将结果存入 PLC 的数据寄存器 D0 和 D1 中。通过本实例来说明 FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块应用。

实例实现

按照控制要求设计的梯形图如图 6-3 所示。

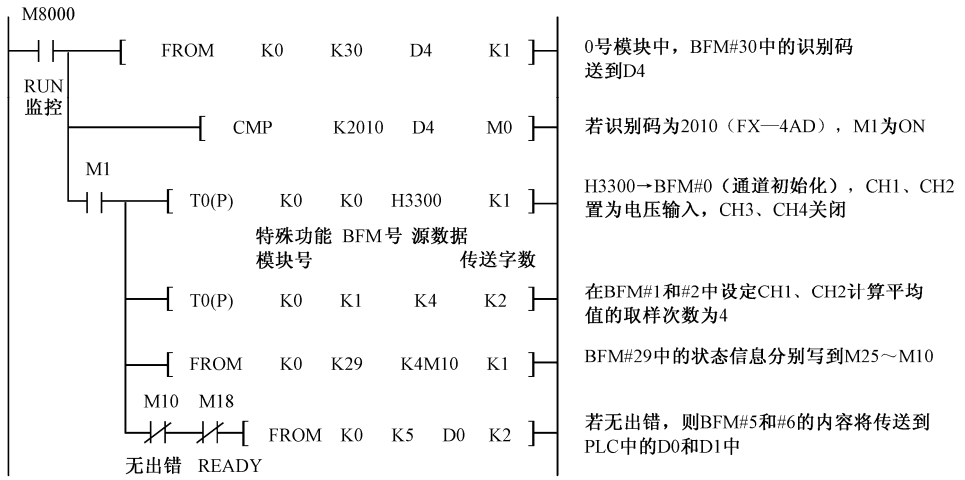


图 6-3　实例 80 实现控制要求设计的梯形图

示例对应的语句表如下：

```
LD      M8000
FROM    K0   K30  D4   K1
CMP     K2010  D4     M0
AND     M1
TO      K0   K0   H3300     K1
TO      K0   K1   K4        K2
FROM    K0   K29  K4 M10    K1
ANI     M10
ANI     M18
FROM    K0   K5 D0 K2
```

实例分析

PLC 与特殊功能模块连接时，数据通信是通过 FROM/TO 指令实现的。为了使 PLC 能够准确地查找到指定的功能模块，每个特殊功能模块都有一个确定的地址编号，编号的方法

是从最靠近 PLC 基本单元的那一个功能模块开始顺次编号，最多可连接 8 台功能模块（对应的编号为 0～7 号），其中 PLC 的扩展单元不记录在内。由图可知，FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块被连接在最靠近基本单元 FX_{2N}—48MR 的地方，因此，编号为 0 号。

实例 79：FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块的调整应用

实例说明

FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块连接如图 6-1 所示。试通过程序对模拟量输入模块 FX_{2N}—4AD 的通道 CH1 进行零点和增益的调整，要求通道 CH1 为电压量输入通道，通道 CH1 的零点值调整为 0V，增益值调整为 2.5V。

实例实现

按照控制要求设计的梯形图如图 6-4 所示。

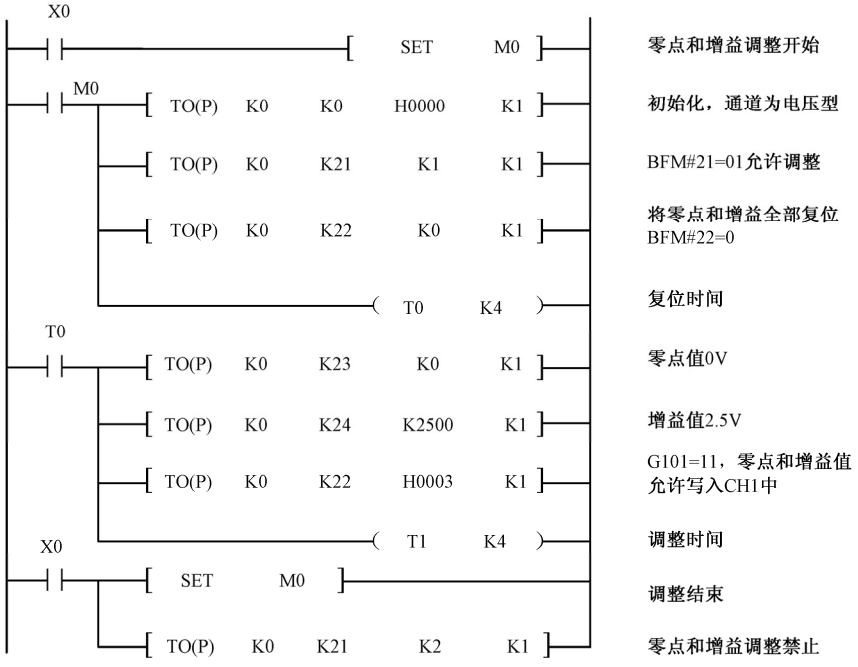


图 6-4　实例 81 的梯形图

示例对应的语句表如下：

```
LD    X000
SET   M0
LD    M0
TO    K0   K0   H0000   K1
TO    K0   K21   K1   K1
TO    K0   K22   K0   K1
```

```
OUT   T0   K4
LD    T0
TO    K0   K23   K0   K1
TO    K0   K24   K2500   K1
TO    K0   K22   H0003       K1
OUT   T1   K4
LD    X000
SET   M0
TO    K0   K21   K2   K1
```



实例分析

模拟量模块的零点和增益的调整可以通过手动或用程序自动进行。在工业自动控制系统的应用中，采用程序控制调整是非常有效的方法。由特殊功能模块的地址编号原则可知，FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块编号为 0 号。

6.3 模拟量输出模块



FX_{2N} 系列 PLC 的模拟量输出模块主要包括两种型号，分别为 FX_{2N}—2DA、FX_{2N}—4DA 的电压/电流模拟量输出模块和一种型号为 FX_{2N}—2LC 的温度调节模块。

1．模拟量输出模块 FX_{2N}—2DA

FX_{2N}—2DA 为两通道 12 位模拟量输出模块，两个通道均可实现数模转换。输出电压范围为 DC 0～+10V、0～5V，电流输出范围为 DC 4～20mA，转换速度为 4ms/通道。FX_{2N}—2DA 通过扩展总线与 FX_{2N} 系列 PLC 基本单元相连，占用 8 个 I/O 端子，模块中模拟电路和数字电路之间具有光隔离，具体技术指标如表 6-7 所示。

表 6-7　FX_{2N}—2DA 技术指标

项　　目	电 压 输 出	电 流 输 出
	两通道模拟量输出。根据电流输出还是电压输出，对端子进行设置	
模拟量输出范围	0～10V DC，0～5V DC（外部负载阻值为 2kΩ～1MΩ）	4～20mA（外部负载阻值为 500Ω或更小）
数字输入	12 位	
分辨率	2.5mV(10V/4000)或 1.25mV(5V/4000)	4μA(20–4)/4000
综合精度	±1%（全范围 0～10V）	±1%（全范围 4～20mA）
转换速度	4ms/CH（顺序程序和同步）	
隔离方式	模拟电路和数字电路之间用光耦合器进行隔离 主单元的电源用 DC/DC 转换器进行隔离 模拟通道之间不进行隔离	
模拟量用电源	24（1±10%）VDC，50mA（来自于主电源的内部电源供应）	
I/O 占有点数	模块占用 8 个输入或输出点（可为输入或输出）	

2．FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块连接

FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块连接如图 6-5 所示。

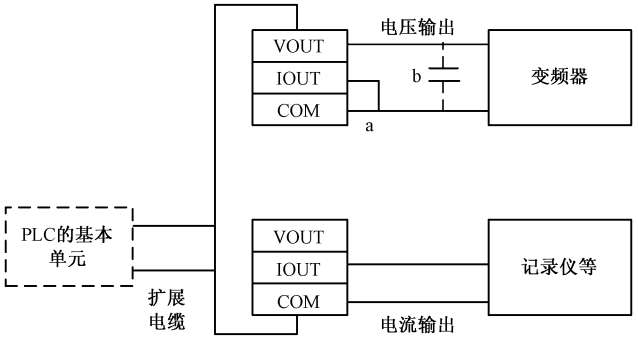


图 6-5　FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块连接

FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块的模拟输出通过双绞屏蔽电缆与驱动负载相连。当使用电压输出时，需将 IOUT 端与 COM 端短接，如图 6-5 中 a 处所示。当电压输出存在波动或有大量噪声时，可以在 VOUT 端与 COM 端之间接入一个 0.1～0.47μF、25V 的电容，如图 6-5 中 b 处所示。

FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块由电缆连接在基本单元的右边。工作时，消耗 FX_{2N} 基本单元或有源扩展单元的+5V DC 电源（内部电源，20mA）、+24V DC（外部电源，50mA）。D/A 转换时间为 4ms/通道。

3．FX_{2N}—2DA 缓冲寄存器（BFM）及设置

FX_{2N}—2DA 模块共有 32 个缓冲寄存器（BFM），但只使用了两个，如表 6-8 所示。

表 6-8　FX_{2N}—2DA 模块 BFM 分配表

BFM 编号	b15～b8	b7～b3	b2	b1	b0
#0～#15	保留				
#16	保留	输出数据的当前值（8 位数据）			
#17	保留		D/A 低 8 位数据保持	通道 1 D/A 转换开始	通道 2D/A 转换开始
#18 或更大	保留				

（1）BFM #16：BFM #16 的 b7～b0 用于输出数据的当前值，由 BFM#17（数字值）指定的通道的 D/A 转换数据并写入。D/A 数据以二进制形式，并以低 8 位和高 4 位两部分的顺序写。

（2）BFM #17：BFM #17 的第 b0 位从“1”变成“0”时，通道 2 的 D/A 转换开始；当第 b1 位从“1”变成“0”时，通道 1 的 D/A 转换开始；当第 b2 位从“1”变成“0”时，D/A 转换的低 8 位数据被保持，其余各位暂未定义。

4．其他模拟量输出模块

FX_{2N}—4DA 是 4 通道 12 位模拟量输出模块，4 个通道均可实现 D/A 转换。输出电压范围为–10～+10V 时，其分辨率为 5mV，电流范围为 0～20mA 时，分辨率为 20μA，转换速度为 4 通道 2.1ms。FX_{2N}—4DA 占用扩展总线的 8 个 I/O 端子，模块中模拟电路和数字电路之间均有光隔离。

FX_{2N}—2LC 共有 4 个通道，其中两个通道为温度输入通道，两个通道为晶体管输出通道。该模块能够提供自调整 PID 控制、两位式控制及 PI 控制，具有断线故障检测功能。可与多种热电偶和热电阻配套使用，分辨率为 0.1℃，控制周期为 500ms。占用 8 个扩展总线接点，模块中模拟电路和数字电路之间均有光隔离。

实例 80：FX_{2N}—2DA 模拟量输入模块的应用

实例说明

在图 6-1 中，若 FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块接在 2 号模块位置，CH1 设定为电压输出，CH2 设定为电流输出，并要求当 PLC 从 RUN 转为 STOP 状态后，最后的输出值保持不变。

实例实现

按照控制要求设计的梯形图如图 6-6 所示。

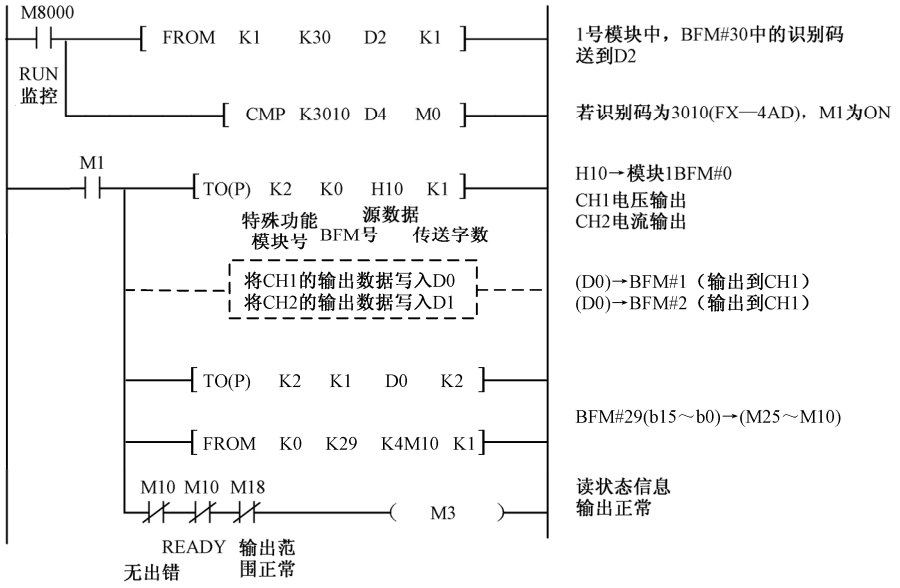


图 6-6　实例 80 梯形图

实例分析

在图 6-1 中，FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块接在 2 号模块位置上。其模块号的识别由前一模块完成，即由模块 1 来实现对模块 FX_{2N}—2DA 编号的识别。

示例对应的语句表如下：

```
LD      M8000
FROM    K1      K30  D2   K1
CMP     K3010   D4   M0
```

```
LD        M1
TO        K2        K0   H10       K1
……
将 CH1 的输出数据写入 D0
将 CH2 的输出数据写入 D1
……
TO        K2        K1   D0        K2
FROM      K0   K29       K4M10     K1
LDI       M10
ANI       M10
ANI       M18
OUT       M3
END
```

6.4 高速计数模块



高速计数模块是为满足对来自诸如旋转编码器、机械开关及电子开关等设备的高速脉冲计数而设计的一种特殊功能模块。FX_{2N} 的高速计数模块型号为 FX_{2N}—1HC，其性能规格如表 6-9 所示。

表 6-9　FX_{2N}—1HC 高速计数模块性能规格

项　目		规　格
输入	信号电平	根据接线端子可从 5V、12V、24V 中选取，行驱动器接在 5V 端子上
	频率	1 相 1 输入：50kHz 以下 1 相 2 输入：各 50kHz 以下 2 相输入：50kHz 以下 1 倍频，25kHz 以下 2 倍频，12.5kHz 以下 4 倍频
计数范围		带符号二进制 32 位或无符号二进制 16 位
计数方式		自动加减（1 相 2 输入或 2 相输入时）或选择加减（1 相 1 输入）
一致输出		YH：用硬件比较器实现设计值与计数值一致时产生输出 YS：用软件比较器实现一致输出，最大延时为 200μs
输出形式		NPN 型晶体管继电器开路输出两点，分别为 DC 5～24V、0.5A
附加功能		由 PLC 采用参数方式设定；瞬时值、比较结果及出错状态由 PLC 监视
输入/输出占用点数		程序上占用 8 点

由表 6-9 可知，高速计数模块 FX_{2N}—1HC 可用于单、双相最高 50kHz 的高速计数。其中，单相 1 输入、单相 2 输入时其输入频率小于 50kHz；双相输入时可设定为 1 倍频、2 倍频和 4 倍频模式。4 倍频时对相位相差 90° 的两相信号的上升沿和下降沿均计数。计数范围有符号时为 32 位二进制数（–2 147 483 648～+2 147 483 648），无符号时为 16 位二进制数（0～65 535）。高速计数模块配有高速一致输出功能，可通过硬件比较器或软件比较器实现该功能。可连接线驱动器输出型编码器。计数器的复位或启动可通过外部输入信号或 PLC 程序实现。高速计数模块 FX_{2N}—1HC 的连接如图 6-7 所示。

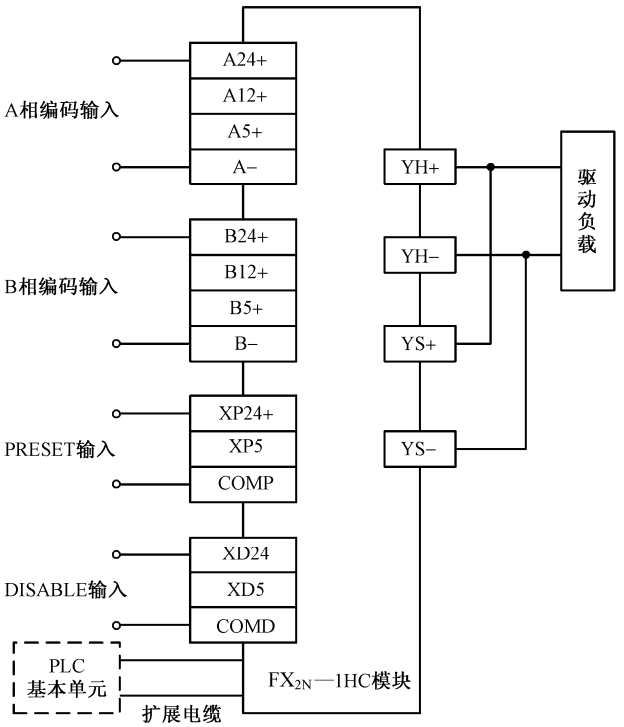


图 6-7　高速计数模块 FX_{2N}—1HC 的连接

1．高速计数模块 FX_{2N}—1HC 的输入/输出

高速计数模块 FX_{2N}—1HC 的计数脉冲信号输入有单相和双相两种。单相输入又有单相 1 输入和单相 2 输入两种，单相 1 输入和单相 2 输入时的频率小于 50kHz。双相输入时可以设置 1 倍频、2 倍频和 4 倍频模式。脉冲信号的幅值可以是 5V、12V 或 24V，分别连接到不同的输入端。

高速计数模块 FX_{2N}—1HC 的输出有两种类型、4 种方式。

（1）由该模块内的硬件比较器输出比较的结果，一旦当前计数值等于设定值时，立即将输出端置“1”，其输出方式有两种：输出端 YHP 采用 PNP 型晶体管输出方式；输出端 YHN 采用 NPN 型晶体管输出方式。

（2）通过该模块内的软件输出比较的结果，由于软件进行数据处理需要一定的时间，因此当前计数值等于设定值时，要经过 200μs 的延迟才能将输出端置“1”，其输出方式也有两种：输出端 YSP 采用 PNP 型晶体管输出方式；输出端 YSN 采用 NPN 型晶体管输出方式。上述各输出端的电源可以是 12～24V 的直流电源，最大负载电流为 0.5A。

2．FX_{2N}—1HC 内的数据缓冲存储区

FX_{2N}—1HC 模块共有 32 个缓冲寄存器（BFM），即 BFM#0～BFM#31，其功能用途如表 6-10 所示。

表 6-10　FX_{2N}—1HC 内的数据缓冲寄存器的功能用途

BFM	功 能 用 途	BFM	功 能 用 途
BFM#0	计数模式	BFM#16	未使用
BFM#1	存放单相单输入方式时软件控制的递加/递减命令	BFM#17	未使用
BFM#2	存放最大计数限定值的低 16 位	BFM#18	未使用
BFM#3	存放最大计数限定值的高 16 位	BFM#19	未使用
BFM#4	存放计数器控制字	BFM#20	存放计数器当前计数值的低 16 位
BFM#5	未使用	BFM#21	存放计数器当前计数值的高 16 位
BFM#6	未使用	BFM#22	存放计数器最大当前计数值的低 16 位
BFM#7	未使用	BFM#23	存放计数器最大当前计数值的高 16 位
BFM#8	未使用	BFM#24	存放计数器最小当前计数值的低 16 位
BFM#9	未使用	BFM#25	存放计数器最小当前计数值的高 16 位
BFM#10	存放计数器计数起始值的低 16 位	BFM#26	存放比较结果
BFM#11	存放计数器计数起始值的高 16 位	BFM#27	存放端口状态
BFM#12	存放硬件比较时计数器设定值的低 16 位	BFM#28	未使用
BFM#13	存放硬件比较时计数器设定值的高 16 位	BFM#29	存放故障代码
BFM#14	存放软件比较时计数器设定值的低 16 位	BFM#30	存放模块识别代码
BFM#15	存放软件比较时计数器设定值的高 16 位	BFM#31	未使用

3．FX_{2N}—1HC 的计数方式

高速计数器 FX_{2N}—1HC 内计数器的计数方式由 BFM#0 内的数据决定，该数据的取值范围为 K0～K11，由 PLC 通过 TO 指令写到 BFM#0 中。为了避免反复将数据写入该寄存器内，TO 指令必须采用脉冲控制方式。计数器的计数方式与 BFM#0 内数据的对应关系如表 6-11 所示。

表 6-11　FX_{2N}—1HC 的计数方式

计 数 模 式		32 位	16 位
两相输入（相位差脉冲）	1 边沿计数	K0	K1
	2 边沿计数	K2	K3
	4 边沿计数	K4	K5
1 相 2 输入（加/减脉冲）		K6	K7
1 相 1 输入	硬件增/减计数	K8	K9
	软件增/减计数	K10	K11

（1）BFM #0：用来设置 K0～K11 计数模式（默认值为 K0）。

① 相计数器（K0～K5）。

- 1 边沿计数（K0，K1）：如图 6-8（a）所示。当 A 相为 ON 时，若 B 相由 OFF 变成 ON，则计数器加 1；当 A 相为 ON 时，若 B 相由 ON 变为 OFF，则计数器减 1。
- 2 边沿计数（K2、K3）：如图 6-8（b）所示。当 A 相为 ON 时，若 B 相由 OFF 变成 ON，或者当 A 相为 OFF 时，若 B 相由 ON 变成 OFF，则计数器均加 1；当 A 相为 ON 时，若 B 相由 ON 变为 OFF，或者当 A 相为 OFF 时，若 B 相由 OFF 变成 ON，

则计数器均减 1。

- 4 边沿计数（K4、K5）：如图 6-8（c）所示。在 A、B 两相的每个上升沿或下降沿（4 个边沿），计数器均计数一次。

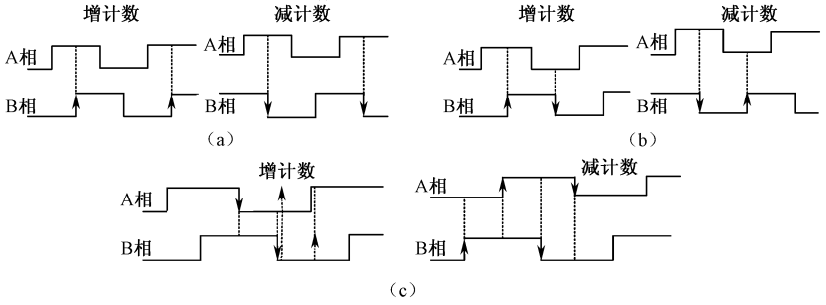


图 6-8　两相计数器

② 1 相 2 输入计数器（K6、K7）。当 A 相为 OFF 时，若 B 相由 OFF 变成 ON，则计数器加 1；当 B 相为 OFF 时，若 A 相由 OFF 变成 ON，则计数器减 1。

③ 1 相 1 输入计数器（K8～K11）。硬件增/减计数方式由 A 相状态决定，当 A 相为 OFF 时，B 相进行增计数；当 A 相为 ON 时，B 相进行减计数。软件增/减计数方式由 BFM #1 中的内容决定，当 BFM #1 中的内容为 K0 时，进行增计数，当 BFM #1 中的内容为 K1 时，进行减计数。

（2）BFM #2、BFM #3：用来存储 16 位计数模式的计数范围，允许值为 K2～K65536（默认值为 K65536）。在 FX_{2N}—1HC 模块中，由于计数数据总是以两个 16 位形式处理的，因此即使对 16 位环形计数器的范围值，也要用 32 位指令（DTO）写入。

（3）BFM #4：用于存储以下命令（其默认值为 K0）。

① 当 BFM #4 的 b0 位为 ON 时，同时 DISABLE 输入端子为 OFF 时，计数器允许对输入脉冲进行计数；当 b0 位为 OFF 时，计数被终止。

② 当 BFM #4 的 b1 位为 ON/OFF 时，允许/禁止 YH 输出。

③ 当 BFM #4 的 b2 位为 ON/OFF 时，允许/禁止 YS 输出。

④ 当 BFM #4 的 b3 位为 ON 时，YH 和 YS 输出互锁（当 YH 为 1 时，YS 为 0；反之，YH 为 0 时，YS 为 1）；当 b3 位为 OFF 时，YH 和 YS 输出相互独立（不互锁）。

⑤ 当 BFM #4 的 b4 位为 ON/OFF 时，允许/禁止预先设置数据。

⑥ 当 BFM #4 的 b8 位为 ON 时，所有错误标志被复位。

⑦ 当 BFM #4 的 b9 位为 ON 时，YH 输出被复位。

⑧ 当 BFM #4 的 b10 位为 ON 时，YS 输出被复位。

⑨ 当 BFM #4 的 b11 位为 ON 时，YH 输出被置位。

⑩ 当 BFM #4 的 b12 位为 ON 时，YS 输出被置位。

当 b8～b12 为 OFF 时，无动作。

（4）BFM #10、BFM #11：存放计数器的预先设定值。设定值在 BFM #4 的 b4 位为 ON，PRESET 的输入端由 OFF 变成 ON 时有效，默认值为 K0。

（5）BFM #12、BFM #13：用来存放 YH 输出比较值，默认值为 K32676。当计数当前值等于比较值时，若 BFM #4 的 b1 位为 ON，则 YH 输出并保持为 ON，直到 BFM #4 的 b9

位为 ON 时，YH 才复位。

（6）BFM #14、BFM #15：用来存放 YS 输出比较值，默认值为 K32676。当计数当前值等于比较值时，若 BFM #4 的 b2 位为 ON，则 YS 输出并保持为 ON，直到 BFM #4 的 b10 位为 ON 时，YS 才复位。

（7）BFM #20、BFM #21：用来存放计数器的当前值，默认值为 K0。

（8）BFM #22、BFM #23：用来存放最大计数值，默认值为 K0。

（9）BFM #24、BFM #25：用来存放最小计数值，默认值为 K0。

（10）BFM #26：用来存放比较结果，如表 6-12 所示。

表 6-12　BFM #26 各位取值含义

BFM #26		“0”(OFF)	“1”(ON)	BFM #26		“0”(OFF)	“1”(ON)
YH	b0	设定值≤当前值	设定值>当前值	YS	3	设定值≤当前值	设定值>当前值
	b1	设定值≠当前值	设定值=当前值		4	设定值≠当前值	设定值=当前值
	b2	设定值≥当前值	设定值<当前值		5	设定值≥当前值	设定值<当前值

（11）BFM #27：当预先置位输入（PRESET）为 ON/OFF 时，BFM #27 的 b0 位为 ON/OFF；当失效输入（DISABLE）为 ON/OFF 时，BFM #27 的 b1 位为 ON/OFF；当 YH 输出为 ON/OFF 时，BFM #27 的 b2 位为 ON/OFF；当 YS 输出为 ON/OFF 时，BFM #27 的 b3 位为 ON/OFF；BFM #27 的 b4～b15 位未定义。

（12）BFM #29：存放各种错误信息。错误标志可通过 BFM #4 的 b8 位复位。

（13）BFM #30：存放 FX_{2N}—1HC 模块的标志码 K4010。

上述缓冲寄存器中，BFM #0～BFM #15 只可用 TO 指令写入数据；BFM #20～BFM #25 既可读出，也可写入数据；BFM #26～BFM #30 只可用 FROM 指令读出数据。

实例 81：高速计数器模块 FX_{2N}—1HC 的应用

实例说明

某 FX_{2N} 型 PLC 控制系统的各模块连接如图 6-9 所示。其中，高速计数器模块 FX_{2N}—1HC 的序号为 2。将该模块内的计数器设置为由软件控制递加/递减的单相单输入的 16 位计数器，并将其最大计数限定值设定为 K4444，采用硬件比较的方法，其设定值为 K4000。

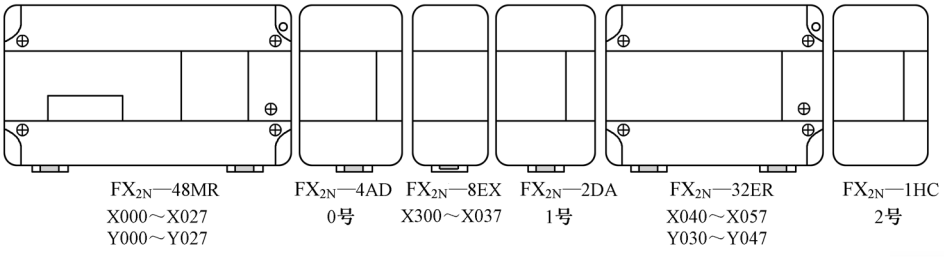


图 6-9　FX_{2N} 型 PLC 控制系统的各模块的连接图

实例实现

按照控制要求设计的梯形图如图 6-10 所示。

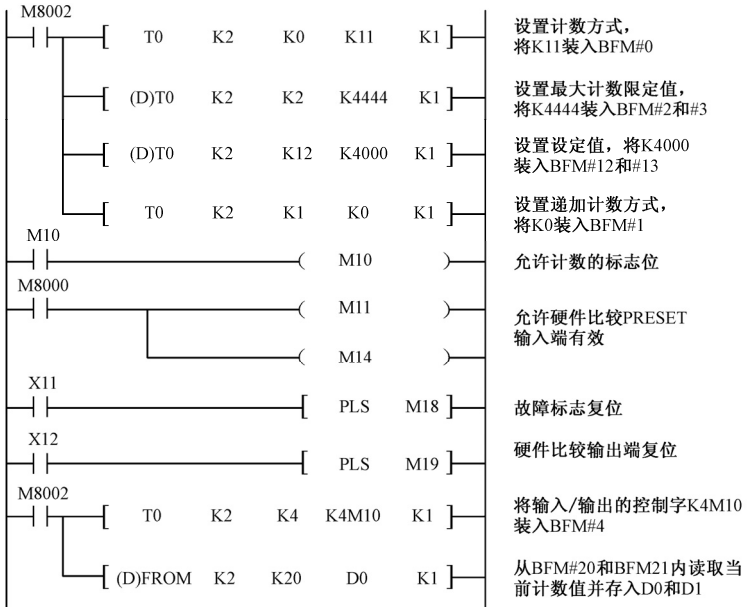


图 6-10　实例 81 梯形图

示例对应的语句表如下：

```
LD   M8002
TO   K2   K0   K11   K1
TO   K2   K2   K4444   K1
TO   K2   K12   K4000   K1
TO   K2   K1   K0   K1
LD    M10
OUT   M10
LD    M8000
OUT   M11
OUT   M14
LD    X011
PLS   M18
LD    X012
PLS    M19
LD    M8002
TO    K2   K4   K4M10   K1
FROM   K2   K20   D0   K1
```

实例分析

高速计数器 FX_{2N}—1HC 内计数器的计数方式由 BFM#0 内的数据决定，该数据的取值

范围为 K0～K11，由 PLC 通过 TO 指令写入到 BFM#0 中去。

6.5 定位控制模块和脉冲输出模块

定位控制模块与脉冲输出模块用于对运动物体的位置、速度和加速度的控制。该类模块与 PLC 组成运动控制系统，可实现对物体的直线运动或旋转运动、单轴或多轴运动的控制，具有 JOG 运动、原点回归、1 速定位、2 段速定位、中断 1 速或 2 速定位、可变速运行等 7 种操作模式，被广泛应用于数控机床及装配机械的控制。可编程凸轮控制器与脉冲输出模块及高速计数模块同属于一种点位控制模块。通过安装专用旋转角传感器，高精度、简便地实现对以往利用机械式凸轮开关所控制的旋转角度定位。

1．可编程凸轮控制器模块

机电控制系统中，通常需要通过角度检测来控制外部负载的接通和断开。过去，这一任务常由机械式凸轮开关来完成。然而，由于机械式凸轮开关存在着控制精度低、易于磨损的缺点，目前已逐渐被可编程凸轮控制器模块 FX_{2N}—1RM—SET 所取代。

可编程凸轮控制器模块 FX_{2N}—1RM—SET 可实现高精度的角度位置检测，还可以进行动作角度的设定和监视。FX_{2N}—1RM—SET 既可以与 FX_{2N} 系列 PLC 基本单元连接，也可以单独使用；结构上内置有无须电池的 E^2PROM，可存放 8 种不同的程序，在程序中占用可编程控制器的 8 个输入/输出点；可用 FX—20—E 编程器和计算机用的软件编程进行程序传送，配套的无刷转角传感器的电缆最长可达 100m。通过连接晶体管扩展模块，可以得到最多 48 点的 ON/OFF 输出。两个输入点的额定值为 DC 24V/7mA，通过光耦合器隔离，响应时间为 3ms。经通信接口模块可将它连接到 CC—Link 网络之中。FX_{2N}—1RM—SET 的位置信号具有断电保护功能，不会因断电而丢失，其参考角及旋转方向可自由设置。

2．FX_{2N}—1RM—SET 的缓冲寄存器及设置

FX_{2N}—1RM—SET 与 PLC 联机使用时，通过 PLC 的 FROM/TO 指令，可对 FX_{2N}—1RM—SET 中的缓冲寄存器 BFM 进行读/写操作。当 PLC 同时连接两台或 3 台 FX_{2N}—1RM—SET 时，PLC 发出的 FROM/TO 指令只对连接距离最近的 FX_{2N}—1RM—SET 有效，而另外两台与 PLC 的读/写操作，只能通过第 1 台 FX_{2N}—1RM—SET 实现。FX_{2N}—1RM—SET 的缓冲寄存器分配（部分）如表 6-13 所示。

表 6-13 FX_{2N}—1RM—SET 的缓冲寄存器分配（部分）

BFM 编号	名　　称	初始值	标记：R 表示读取，W 表示写入，K 保持		文件记录分配编号
#0	初始化设定	0	—	W，K	D7144
#1	参考角度（ADJ）	0	机械参考角度的设置：×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	W，K	D7145
#2 #8002 #9002	指定程序组编号（0～7）	0	与 PLC 连接时有效	W	—
#3 #8003 #9003	指令	0	—	W	—
#4	输出禁止（Y00～Y17）	0	b=0 允许，b=1 禁止输出	W	—

续表

BFM 编号	名　　称	初始值	标记：R 表示读取，W 表示写入，K 保持		文件记录分配编号
#5	输出禁止（Y20～Y37）	0	b=0 允许，b=1 禁止输出	W	—
#6	输出禁止（Y40～Y57）	0	b=0 允许，b=1 禁止输出	W	—
#7	执行程序组编号	—	—	W	—
#8 #8008 #9008	当前角度	—	×1 数值 (1°), ×2 数值(0.5°)	R	—
#9 #8009 #9009	旋转角度（r/min）	—	—	R	—
#10 #8010 #9010	输出状态（Y00～Y17）	—	0 时输出为 OFF， 1 时输出为 ON	R	—
#11 #8011 #9011	输出状态（Y20～Y37）	—	0 时输出为 OFF，1 时输出为 ON	R	—
#12 #8012 #9012	输出状态（Y40～Y57）	—	0 时输出为 OFF，1 时输出为 ON	R	—
#28 #8028 #9028	状态	0	—	R	—
#29	错误代码	0	—	R	—
#30	模块代码	K5410	—	R	—
#100	写入为 ON 的角度	—	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	W	—
#101	写入为 OFF 的角度	—	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	W	—
#102	写入 BFM 号	—	设定范围 1000～7142（输出为 ON 时角度设定的 BFM 数值）	W	—
#103	读取 BFM 号	—	设定范围 1000～7142（输出为 ON 时角度设定的 BFM 数值）	W	—
#104	读为 ON 的角度	—	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	R	—
#105	读为 OFF 的角度	—	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	R	—
#1000	写入程序库 0，步号 0 中 Y000=ON 的角度	FFFF	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	W, K	D1000
#1001	写入程序库 0，步号 0 中 Y000=OFF 的角度	FFFF	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	W, K	D1001
……	……	……	……	……	……
#7142	写入程序库 0，步号 7 中 Y000=ON 的角度	FFFF	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	W, K	D7142
#7143	写入程序库 0，步号 7 中 Y000=OFF 的角度	FFFF	×1 数值（1°），×2 数值（0.5°）	W, K	D7143

注：

① 当 PLC 同时连接两个或三个 FX_{2N}—1RM—SET 时，PLC 通过读/写最近 1 台 FX_{2N}—1RM—SET 的缓冲寄存器编号：BFM#8000～#8999（对应第 2 台 FX_{2N}—1RM—SET）、BFM#9000～#9999（对应第 3 台 FX_{2N}—1RM—SET）的相关数据，实现与第 2 和第 3 台 FX_{2N}—1RM—SET 的通信。

② FX_{2N}—1RM—SET 缓冲寄存器内的数据均为 16 位二进制数。

③ 当角度采用单倍值表示时，分辨率为 1°；当采用 2 倍值表示时，分辨率为 0.5°。

FX_{2N}—1RM—SET 中部分缓冲寄存器中 16 位二进制数中每一位（bit）代表的具体含义如表 6-14～表 6-17 所示。

表 6-14　BFM#0 初始化的设定

位	描　　述	初始值	备　　注
b0	精度	0	1：为 720°/周；0：为 360°/周
b1	编码器旋转方向	0	1：逆时针；0：顺时针
b2	E^2PROM 写保护	0	1：禁止写入 E^2PROM；0：允许写入 （但是，BFM #0 b2 可以被修改）

续表

位	描　　述	初始值	备　　注
b3	指定程序库的方法	0	1：可编程控制器；0：外部 FX_{2N}—1RM 输入
b4	角度自增益功能	0	1：使用（Y000～Y017）；0：未使用
b5	局部角度自增益功能	0	1：使用（Y000～Y003）；0：未使用
b6	禁止键盘 RUN 到 PRG 操作	0	1：禁止 0:允许
b7～b15	未使用	—	—

表 6-15　缓冲寄存器 BFM#3

位	描　　述	备　　注
b0	RUN	运行程序（上升沿有效）
b1	PRG	通过 PRG 指令关闭输出（上升沿有效）
b2	ADJ	PRG 模式下设定基准角度采纳（上升沿有效）
b3	出错清除	清除出错信息（上升沿有效）
b4	RUN 模式下的写指令	将当前正在执行的程序组程序的修正内容写入 E^2PROM（上升沿有效）
b5	BFM 保持区的初始化	0：不使用；1：Y000～Y003 使用
b6	PRG 中的写指令	0：允许；1：不允许
b7～b15	未使用	—

表 6-16　缓冲寄存器 BFM#28

位	描　　述	备　　注
b0	b0=1 时，运行显示	RUN 模式中操作正常时开启
b1	b1=1 时，顺时针旋转	RUN 模式中当 BFM #0 b1 设置为 0 旋转时开启
b2	b2=1 时，逆时针旋转	RUN 模式中当 BFM #0 b1 设置为 1 旋转时开启
b3	b3=1 时，出现错误	关闭输出，当错误清除时关闭
b4	b4=1 时，RUN 模式中写入	将当前正在执行的程序组程序内容写入 E^2PROM 时开启，不要在该位开启时修改同一个程序组的程序
b5	b5=1 时，正在初始化保持区	不要在保持区初始化时修改保持区程序
b6	b6=1 且 b7=0 时，连接两个或两个以上 FX_{2N}—1RM 单元	连接两个 FX_{2N}—1RM 单元时，b6 开启而 b7 被关闭。当连接 3 个 FX_{2N}—1RM 单元时，b6 和 b7 都被开启
b7	b6=1 且 b7=1 时，连接三个 FX_{2N}—1RM 单元	
b8	b8=1 时，FX_{2N}—1RM 通信错误	当连接两个或两个以上的 FX_{2N}—1RM，无法与右边的 FX_{2N}—1RM 进行通信时，b8 开启
b9～b15	未使用	—

表 6-17　缓冲寄存器 BFM#29

代 码 编 号	描　　述
20	数据设定错误（超出范围）
21	程序组设定错误（超出范围）
22	存储器错误（数据不能写入 E^2PROM）
23	编码器连接断开错误

脉冲输出模块型号主要包括 FX_{2N}—1PG 及 FX_{2N}—10PG 两种。

实例 82：凸轮控制器 FX_{2N}—1RM—SET 的应用

实例说明

图 6-11 所示为可编程控制器 FX_{2N}—80MT 及其扩展单元 FX_{2N}—16EYT 与可编程凸轮控制器 FX_{2N}—1RM—SET 的连接图。要求由 FX_{2N}—80MT 读取 FX_{2N}—1RM—SET 的输出状态信息，并通过 FX_{2N}—80MT 的输出端输出控制信号的程序，同时 FX_{2N}—80MT 能够对 FX_{2N}—1RM—SE 发出运行、编程和复位的命令，试设计该程序。

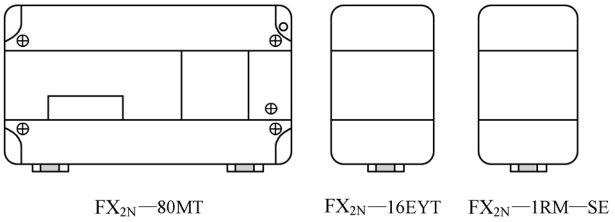


图 6-11　实例 82 连接图

实例实现

按照控制要求设计的梯形图如图 6-12 所示。

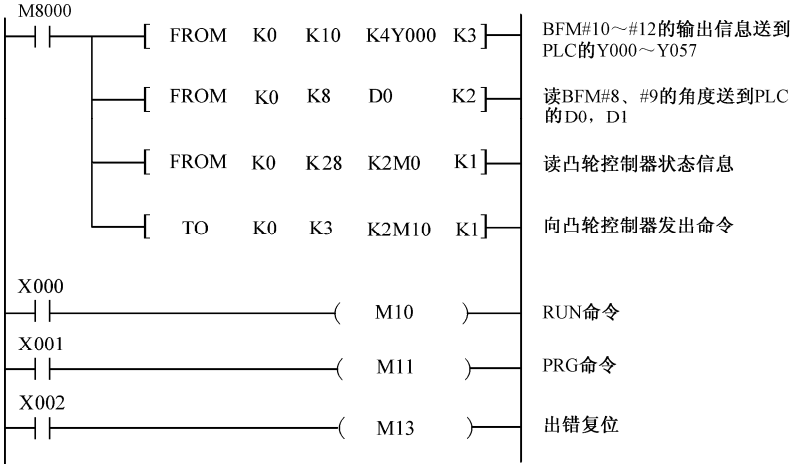


图 6-12　实例 82 梯形图

示例对应的语句表如下：

```
LD      M8000
FROM    K0   K10   K4Y000   K3
FROM    K0   K8    D0       K2
FROM    K0   K28   K2M0     K1
TO      K0   K3    K2M10    K1
LD      X000
```

```
OUT    M10
LD     X001
OUT    M11
LD     X002
OUT    M13
END
```



实例分析

可编程凸轮控制器 FX_{2N}—1RM—SET 与 PLC 联机工作时，PLC 通过 FROM/TO 指令，实现对可编程凸轮控制器的控制。其中，PLC 的输入信号 X000、X001、X002 可以实现对 PLC 的运行控制。

3．FX_{2N}—1PG 脉冲输出模块的特点

FX_{2N}—1PG 脉冲输出模块配备 7 种定位控制操作模式，可以通过向伺服电动机或步进电动机的驱动放大器提供指定数量的脉冲来完成一个对独立轴的定位。FX_{2N}—1PG 只用于 FX_{2N} 子系列，用 FROM/TO 指令进行各种参数的设定并读出定位值和运动速度。该模块占用 8 个 I/O 端子，最高可输出 100kHz 的脉冲串。

4．FX_{2N}—10PG 脉冲输出模块的特点

FX_{2N}—10PG 脉冲输出模块的最高输出脉冲串可达 1MHz，最小启动时间 1ms。具有最优速度控制功能，使得定位精度更加准确。采用 S 型加/减速控制，可接收外部脉冲发生器最大 30kHz 的脉冲输入，具有表格操作功能，使得多段速运行和定位编程更加容易。

FX_{2N}—1PG/FX_{2N}—10PG 的技术指标如表 6-18 所示。

表 6-18　FX_{2N}—1PG/FX_{2N}—10PG 的技术指标

项　目		FX_{2N}—1PG	FX_{2N}—10PG
控制轴数		单轴（1 台 PLC 最多控制 8 根单轴）	
指令速度		0.01～100kHz	1Hz～1MHz
设置脉冲范围		0～999 999。可选绝对或相对位置规格。位置数据设置以 10、100、1000 等倍数	–2 147 483 648～+2 147 483 648。可选绝对或相对位置规格。位置数据设置以 10、100、1000 等倍数
脉冲输出格式		可选向前、反向或具有方向的脉冲，集电极开路和晶体管输出。5～24V/DC，24mA	
占用 I/O 点数		8 个 I/O 点（输入或输出）	
电源	对输入信号	24(1±10%)V DC，40mA	START、DOG、X000X001：24V(1±10%)V DC，32mA
	对内部控制	5V，55mA DC	5V，120mA DC
	对脉冲输出	5～24V，20mA DC	通过 Vin 伺服放大器或外部电源供电
适用控制器		FX_{2N}/FX_{2NC} 系列（必须用 FX_{2NC}—CNV—IF 转换电缆连接）	

定位控制模块包括 FX_{2N}—10GM、FX_{2N}—20GM 及可编程凸轮控制单元 FX_{2N}—1RM—SET 等。

5．FX_{2N}—10GM/FX_{2N}—20GM 定位控制器

FX_{2N}—10GM 是单轴定位控制单元，FX_{2N}—20GM 是双轴定位控制单元，技术指标如表 6-19 所示，该类控制器采用定位专用语言。FX_{2N}—10GM 有 4 点通用输入和 6 点通用输出，FX_{2N}—20GM 有 8 个通用输入和 8 个通用输出。FX_{2N}—20GM 可执行直线插补、圆弧插补或独立双轴控制，可脱离 PLC 独立工作，并且有绝对位置检测功能和手动脉冲发生器连接功能，具有流程图的编程软件使程序设计可视化。最高输出频率为 200kHz，FX_{2N}—20GM 插补时为 100kHz。

表 6-19　FX_{2N}—10GM/FX_{2N}—20GM 定位控制器技术指标

项　　目		FX_{2N}—10GM	FX_{2N}—20GM
控制轴数		单轴	2 轴（2 轴同时或独立）
插补		不可以	可以
驱动方法		可与 PLC 连接或单独使用（独立使用无 I/O 扩展）	可与 PLC 连接或单独使用（独立使用可 I/O 扩展）
程序寄存器		3.8KB	7.8KB，具有内置 RAM，可选用寄存器板 FX_{2N}—EEP—ROM—16，不能用时钟功能寄存器板
定位单位		指令单位：mm、deg、inch 和 pls（相对/绝对）最大指令±999 999	
累加地址		–2 147 483 648～+2 147 483 648	
速度指令		最大 200kHz，153 000cm/min（不超过 200kHz）自动梯形图方式加/减速	
零返回		最大 200kHz，153 000cm/min（不超过 200kHz）自动梯形图方式加/减速（插补驱动不超过 100kHz）	
控制输入		操作系统：FWD（手动向前）、RVS（手动反向）、ZRN（机器零返回）、START（自动启动）、STOP（停止）、手动脉冲发生器（最大 2kHz） 单步操作输入机械系统：DOG（近点信号）、LSF（向前转动极限）、LSR（向后转动极限） 中断 4 点伺服系统：SVRDY（准备伺服）、SVEND（伺服结束）、PGO（零点信号）	
控制输出		伺服系统：FP（向前转动脉冲）、RP（反向转动脉冲）、CLR（计数器清零）	
		主体：Y000～Y005	主体：Y000～Y007，可经扩展板扩展到 Y010～Y067（八进制，最大 I/O 点达 48 点）
控制方法		通过特殊编程工具，以定位控制单位的形式编写程序完成控制	
		与 PLC 使用时，通过 FROM/TO 指令完成定位控制	
程序号		X00～X99:定位程序；100 之后为子任务程序	X00～X99 和 Y00～Y99：2 轴同时；X00～X99 和 Y00～Y99：2 轴独立；100 后为子任务程序
指令	定位	Cod 数字系统（使用指令编码）–13 型	Cod 数字系统（使用指令编码）–19 型
	顺序	LD LDI AND ANI OR ORI ANB ORB SET RST 和 NOP	
	应用	FNC 数字系统–29 型	FNC 数字系统–30 型
占用 I/O 点		8 点（输入/输出均可）	
通信		与 PLC 通信，FROM/TO 指令	
电源		24(1±15%)V DC，5W	24(1±15%)V DC，0W
适用控制器		FX_{2N}/FX_{2NC} 系列（必须用 FX_{2NC}—CNV—IF 转换电缆连接）	

思考题

1．FX 系列 PLC 特殊功能模块有哪些？试举例列出 3 种特殊功能模块，并说出有哪些主要特点？

2．FX_{2N} 系列模拟量输入模块和输出模块的主要技术指标如何？有何区别？

3．FX_{2N}—1HC 的计数方式有哪些？应如何设定？

4．可编程凸轮控制器有哪些特点？它有哪些工作方式？

5．定位控制模块有哪几种？主要功能是什么？

第 7 章　PLC 系统通信

当今，随着工业生产规模的不断扩大，对生产及其管理的自动化水平提出了越来越高的要求。PLC 作为工业自动化生产系统中的一种重要的自动控制装置，其组网与通信功能的发展是近年来自动化领域颇受重视的新兴技术。本章以 FX_{2N} 系列 PLC 与计算机及 PLC 与 PLC 之间的通信为例，对 PLC 系统的通信及应用技术给予一定的描述和介绍。

7.1　PLC 通信的基本知识

PLC 通信是指 PLC 与计算机、PLC 与 PLC、PLC 与现场设备或远程 I/O 之间的信息交换。PLC 与计算机及各扩展模块之间的交换信息都是以“0”和“1”所表达的数字信号，因此 PLC 通信属于数字通信。

7.1.1　数据通信系统构成

数据通信系统的基本构成如图 7-1 所示。它由传送设备、传送控制设备（通信软件、通信协议）及通信介质等部分组成。

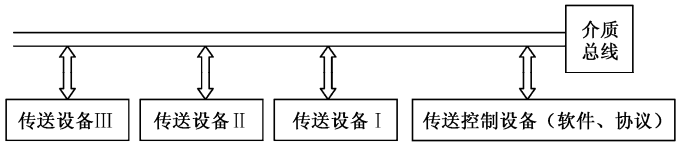


图 7-1　通信系统的基本组成框图

其中，传送设备不少于两台，包括发送及接收设备。对于多台设备之间的数据传送，往往有主、从之分。主设备处于控制、发送和处理信息的主导地位，从设备主要用于接收、监视和执行主设备的信息指令。主从关系由实际通信的数据传送结构确定。在 PLC 通信系统中，传送设备可以是 PLC、计算机或各种外围设备。

传送控制设备主要用于控制发送与接收之间的同步协调，保证信息发送与接收的一致性。这种一致性是通过各种通信协议和通信软件来实现的。通信协议是指通信过程中必须严格遵守的数据传送规则，是通信法规。

通信软件用于对通信的软件、硬件进行统一调度、控制和管理。

介质总线是通信系统内部进行数据或信息交换的物理通道。

7.1.2　数据通信方式及传输速率

数据的基本通信方式有并行通信和串行通信两种。

1．并行通信

并行数据通信是指以字节或字为单位的数据传输方式。这种数据传输方式，除了有满足传输数据最大位数的数据线（数据线的根数与数据的位数相等）和一根公共线外，还需要数据通信双方联络的控制线，如图 7-2 所示。

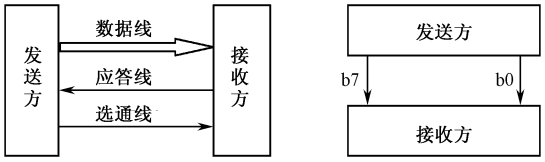


图 7-2　并行通信示意

并行数据通信的工作过程如下。

（1）发送方在发送数据之前，首先判别接收方发出应答信号的线的状态，以决定是否可以发送数据。

（2）发送方在确定可以发送数据后，在数据线上发送数据，并在选通线上输出一个状态信号给接收方，表示数据线上的数据有效。

（3）接收方在接收数据之前，首先判别发送方发出选通信号的线的状态，以决定是否可以接收数据。

（4）接收方在确定可以接收数据后，在数据线上接收数据，并在应答信号线上输出一个状态信号给发送方，表示可以再发送数据。

并行传送时，一个数据的所有位同时传送，因此每个数据位都需要一条单独的传输线，一个数据有多少二进制位就需要多少条传输线，一次即可传送完成。

并行通信传输速率快，但硬件成本高，不宜远距离通信，常用于近距离、高速度的数据传输场合，如在 PLC 的内部各元器件间、主机与扩展模块或近距离智能模板的处理器之间。

2．串行通信

串行通信是以二进制的位（bit）为单位的数据传输方式。除了公共线外，数据传输在一个传输方向上只用一根通信线。这根线既作为数据线又是通信联络控制线。数据和联络信号在这根线上按位进行传输。

串行通信在传输数据时，数据的各个不同位分时使用同一根传输线，从低位开始一位接一位地依次传送，数据有多少位就需要传送多少次，因此只需要几条传输线就可以在两设备间实现交换信息，如图 7-3 所示（全双工通信方式）。图中，由设备 1 向设备 2 传送一个 8 位数据 10110011，传送时由低位到高位逐次传送。

串行通信传送速度慢，但需要的信号线少，最少两根线即可实现通信。因此，可以大大节省成本，特别适合远距离传输。目前，串行通信的传输速率可达兆字节的数量级。串行通信多用于计算机与计算机之间、计算机与 PLC 之间、多台 PLC 之间的数据传输。

1）串行通信数据传送的工作方式

串行通信按信息在设备间的传送方式可分为 3 种：单工通信、半双工通信、全双工通信，如图 7-4 所示。

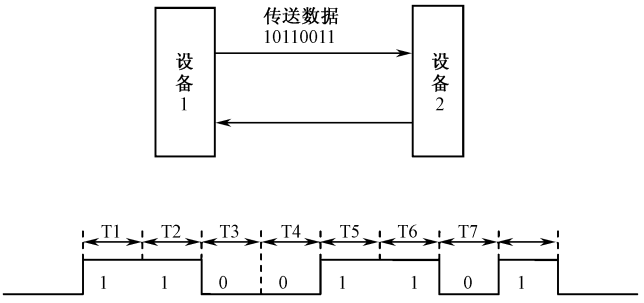


图 7-3　串行通信示意

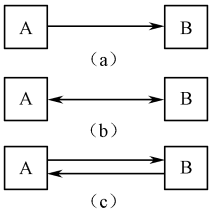


图 7-4　单工、半双工和全双工通信

单工通信只需一条传输线，数据只能按固定的单方向传递，如图 7-4（a）所示。

半双工通信仍然只需要一条传输线，但可以实现数据的双向传递，只是不能同时传输，只能交替进行。在任一时刻，数据只能沿一个方向传递，如图 7-4（b）所示。因此，为了控制线路换向，应对两端设备进行控制，以确定数据流向。半双工通信的双向传送效率较低。

全双工通信有两条传输线，如图 7-4（c）所示。两台通信设备之间可同时接收和发送数据，数据传输速度快。全双工通信中，两个传输方向上的资源完全独立。

单工通信不能实现双方信息的交流，因此在 PLC 网络中极少使用。

2）串行通信数据的收发方式

为了保证发送与接收数据的一致，串行通信采用两种通信技术——同步通信和异步通信。

异步通信是指将被传输的数据编码成一串脉冲，按照定位数（通常是按一个字节，即 8 位二进制数）分组，每组数据的开始位加“0”标志，即低电平，宽度为 1bit；紧跟着是字符数据位，以高电平为“1”，低电平为“0”；末尾加校验位“1”和停止位“1”标记，构成完整的帧格式，按照上述约定格式一帧一帧地传送。异步通信在各部件之间没有统一的时间标准，相邻两个字符之间的停顿时间不一，在停止位后可以加一位或几位空闲位，空闲位由高电平表示，用于等待下一个字符的传送。因此，接收和发送可以随时或间断进行，而不受时间限制，如图 7-5 所示。

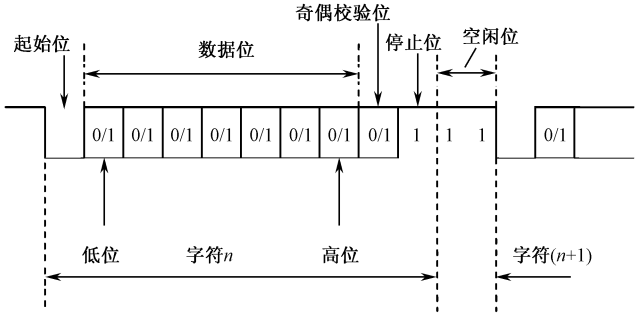


图 7-5　异步串行通信方式示意

由此可知，对于异步通信数据传送，通信的设备之间必须有两项约定，即相同的传送字符数据格式和一致的传送速率。

由于每个字符的开始和结束都要用起始位和停止位标志，因此传送效率较低，主要用于中、低速通信场合。

同步通信与异步通信的不同之处在于，同步传送数据不需要增加冗余的标志位，有利于提高传送速度，但要求有统一的时钟信号来实现发送端和接收端之间的严格同步，而且对同步时钟信号的相位一致性的要求非常严格。因此，这种方式硬件设备复杂，价格较贵。通常只在传送速率超过 20 000bit/s 的系统才使用这种方式。PLC 常采用半双工或全双工异步串行通信模式。

3）传输速率

单位时间内传输的信息量称为传输速率。它是衡量数据传输的主要指标，通信之间的发送与接收设备必须以相同的数据传送速率工作。数据传输中常用的有码元速率和比特速率两种。

码元速率也称调制速率，是脉冲信号经过调制后的传输速率，即信号在调制过程中，单位时间内调制信号波形变化的次数，也就是单位时间内所能调制的次数，单位为波特（Baud），通常用于表示调制解调器之间传输信号的速率。

比特速率是指每秒传输多少比特位，单位为比特/秒（bit/s）。

对于二元制码，码元速率和比特速率在数值上是相同的。

常用的标准比特率有 300bit/s、600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s 和 19 200bit/s 等。

目前，PLC 的传输速率可根据需要进行选用，一般为 300bit/s、600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s，直到 38 400bit/s。

7.1.3 串行通信接口标准

FX 系列 PLC 的串行异步通信接口主要有 RS—232C、RS—422 和 RS—485 等。

1．RS—232C 串行通信接口

RS—232C 标准（协议）是美国电子工业协会 EIA 于 1962 年公布的一种标准化接口。“RS”是英文“推荐标准（Recommend Standard）”的缩写，“232”是标志号，“C”表示此接口标准的修改次数。它既是一种协议标准，又是一种电气标准，对串行通信接口的机械特性、信号功能、电气特性和过程特性都做了明确的规定。该标准适合于数据传输速率在 0～20 000bit/s 范围内的串行通信，是为远程通信中数据终端设备（DTE）和数据通信设备（DCE）的连接而制定的。

电气性能上，采用负逻辑，ON 状态对应逻辑 0，电压在 5～15V 范围内；OFF 状态对应逻辑 1，电压在–5～–15V 范围内。数据通信速率为 0～20 000bit/s，数据终端设备（DTE）和数据通信设备（DCE）之间的电缆最大长度不超过 15m。

机械性能上，RS—232C 的标准接口插件是 9 针或 25 针的“D”形连接器。其中，凸型连接器安装在数据终端设备（DTE）上，凹型连接器安装在数据通信设备（DCE）上。对于 25 针接口，在具体使用中并不都用，最少只用 3 根，目前最多用到 22 根。

在信号功能上，RS—232C 标准规定了数据终端设备（DTE）与数据通信设备（DCE）之间的接口信号功能。25 针 RS—232C 接口有 25 根信号线，其中包括 2 根地线、4 根数据

线、11 根控制线、3 根定时线和 5 根备用线。表 7-1 列出了 25 针 RS—232C 标准接口常用的引脚名称及功能。

表 7-1　RS—232C 标准接口常用引脚名称及功能

引　脚　号	信 号 名 称	缩写名称	功　　能
1	保护地线	PG	设备地线
2	发送数据	TXD	由 DTE 输出数据到 DCE
3	接收数据	RXD	由 DCE 输入数据到 DTE
4	请求发送	RTS	至 DCE，DTE 请求切换到发送方式
5	允许发送	CTS	DCE 已切换到准备接收
6	数传装置准备好	DSR	由 DCE 来，指示 DCE 已可用
7	信号地线	SG	信号地线
8	载波检测	DCD	由 DCE 来，指示 DCE 正接收通信链路的信号
20	数据终端准备好	DTR	至 DCE，指示 DTE 已可用
22	振铃指示	RI	由 DCE 来，指示通信线路测出响铃

RS—232C 通信接口标准目前已被许多计算机、PLC 等制造商广泛采用。由于 RS—232C 串行通信传输速率低且传输距离有限，因此它主要应用在主机与外围设备之间的通信，如编程器、调制解调器、数据终端等。RS—232C 接口近距离通信时，两台数据终端设备利用发送线、接收线、地线 3 根线可直接实现全双工异步通信。

2．RS—422 串行通信接口

由于 RS—232C 接口传输速率及传输距离的局限，美国 EIA 于 1977 年推出了新的串行通信标准 RS—499。它定义了 RS—232C 中所没有的 10 种电路功能，改进了 RS—232C 接口的电气特性。RS—422 是 RS—499 标准的子集。它采用差动发送、差动接收的工作方式，发送器、接收器采用+5V 电源，其通信速率、传输距离、抗共模干扰等方面较 RS—232C 接口有较大提高。例如，在 1200m 距离内传输可达 100Kbit/s，12m 内可达 10Mbit/s。

3．RS—485 串行通信接口

RS—485 串行接口是 RS—422 接口的变形。二者的区别在于 RS—422 为全双工通信，而 RS—485 则为半双工通信。

RS—485 与 RS—422 接口用于多站点的互连非常方便，在一条总线上可以连接 32 个站点。目前，新的接口器件已允许连接 128 个站点，并且功能和安全性能均满足要求。因此，该接口已被广泛应用于工业控制系统之中，实现分布式控制。

7.1.4　开放式系统互连参考模型

开放式系统互连参考模型（OSI/RM）是国际标准化组织（International Standard Organization，ISO）为实现各生产厂家所生产的智能设备之间的通信而制定的一套通用计算机通信标准。该模型制定于 1978 年，有 7 层通信协议构成，如图 7-6 所示。

其中，物理层为用户提供物理连接，如双绞线、同轴电缆等。其他层面都是以物理层为基础的，实现对等层之间的开放互连。

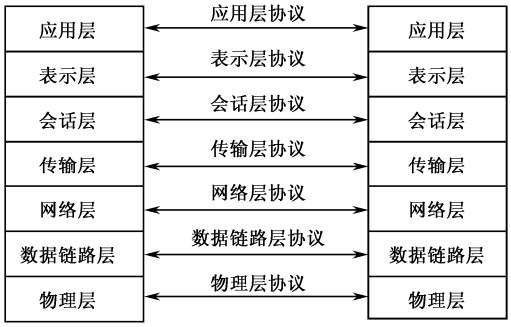


图 7-6　通信协议模型

数据链路层负责在两个相邻节点间的链路上，实现差错控制功能。数据在数据链路中是以帧为单位传送的，每帧包含一定数量的数据和必要的控制信息，如同步、地址等信息。数据链路层负责把输入数据按帧分组，并在接收端检验传输的正确性。若正确，则发送确认信息；若不正确，则抛弃并等待发送端超时重发。

网络层主要实现报文包的分段、阻塞的处理及通信路径的选择等。

传输层主要负责从会话层接收数据并把它们传送到网络层，保证数据完整、正确到达目的地，是网络层与会话层之间的接口。该层数据信息的传送单位是报文（Message）。

会话层的功能是支持通信管理和实现最终用户应用进程之间的同步，按正确的顺序收发数据，进行各种对话。

表示层主要用来实现应用层信息内容的形式交换，如信息的压缩/解压、加密/解密等，把应用层提供的信息转变为能够共同理解的形式。

应用层作为系统的最高层，主要为用户提供信息交换服务，提供应用接口操作标准，负责与其他高级功能的通信，如数据库等。

7.2　PLC 与 PLC 之间的通信

7.2.1　N：N 连接通信

随着工业生产规模的不断扩大及对自动化水平的要求越来越高，作为工业自动化生产系统中的一种重要的自动控制装置——PLC，其自身的控制能力得到了极大的提高。目前，大型机的控制点数均已超过 2048 点。尽管如此，单靠不断增加 PLC 的输入与输出点数已难以满足现代工业控制系统日益复杂的控制功能。因此，PLC 控制系统也逐步从单机分散型控制向着多机协同的网络化控制系统发展。PLC 与 PLC 之间的通信称为同位通信，又称为 N：N 网络。图 7-7 所示为三菱 FX_{2N} 系列 PLC 与 PLC 之间的系统连接框图，该系统由 RS—485 通信所用的 FX_{2N}—485—BD 功能扩展模块或特殊适配器连接，可以通过程序数据连接 2～8 台 PLC。各站间，位软元件（4～64 点）和字软元件（4～8 点）被自动连接，通过分配到本站上的软元件，可知道其他站的 ON/OFF 状态和寄存器数值。该系统中的特殊辅助继电器不能作为他用。

在图 7-7 中，0 号为主站点，其余为从站点。各站点之间的通信通过 FX_{2N}—485—BD 的

通信接口连接。与 N：N 网络通信中有关的辅助继电器和数据寄存器如表 7-2 和表 7-3 所示。

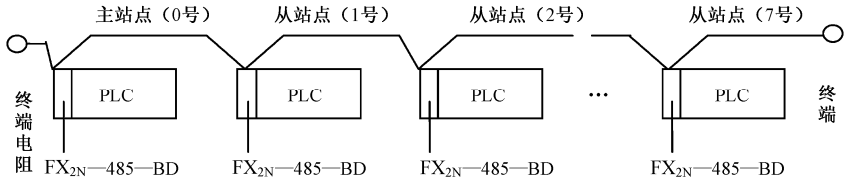


图 7-7　PLC 与 PLC 之间的系统连接框图

表 7-2　与 N：N 网络有关的辅助继电器（只读）

属　性	FX_{1S}	FX_{1N}、FX_{2N} 和 FX_{2NC}	描　　述	响应类型
只读	M8038		用于 N：N 网络参数设置	主、从站
只读	M504	M8183	有主站通信错误时为 ON	主站
只读	M505～M511	M8184～M8190	有从站通信错误时为 ON	主、从站
只读	M503	M8191	与别的站通信时为 ON	主、从站

表 7-3　与 N：N 网络有关的数据寄存器及功能

属　　性	FX_{1S}	FX_{1N}、FX_{2N} 和 FX_{2NC}	描　　述	响应类型
只读	D8173		保存自己的站号	主、从站
只读	D8174		保存从站的个数	主、从站
只读	D8175		保存刷新范围	主、从站
只写	D8176		设置站号	主、从站
只写	D8177		设置从站个数	主
只写	D8178		设置刷新模式	主
读/写	D8179		设置重试次数	主
读/写	D8180		设置通信超时时间	主
只写	D201	D8201	网络当前扫描时间	主、从站
只写	D202	D8202	网络最大扫描时间	主、从站
只写	D203	D8203	主站通信错误条数	从站
只写	D204～D210	D8204～D8210	1～7 号从站通信错误条数	主、从站
只写	D211	D8211	主站通信错误代码	从站
只写	D212～D218	D8212～D8218	1～7 号从站通信错误代码	主、从站
—	D219～D255	—	用于内部处理	—

N：N 网络的各数据寄存器设置如下。

（1）工作站号的设置（D8176）。D8176 的取值范围为 0～7，主站设置为 0，从站设置为 1～7。

（2）从站个数的设置（D8177）。该设置只适用于主站，D8177 的设定范围为 1～7，默认值为 7。

（3）刷新范围的设置（D8178）。刷新范围是指主站与从站共享的辅助继电器和数据寄存器的范围。刷新范围由主站的 D8178 设置，可以设定为 0、1 或 2（默认值为 0）。当为 0 时，即模式 0；当为 1 时，即模式 1；当为 2 时，即模式 2。

模式 0 时，对 FX_{0N}、FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N} 及 FX_{2NC} 的 PLC 来说，0～7 号站点的位软元件不刷新，而只对字软元件每站的 4 点刷新，即对第 0 号站的 D0～D3、第 1 号站的 D10～D13……第 7 号站的 D70～D73 刷新。

模式 1 时，对 FX_{1N}、FX_{2N} 及 FX_{2NC} 的 PLC 来说，可对每站 32 点位软元件和 4 点字软元件进行刷新，即可对第 0 号站的 M1000～M1031、D0～D3，第 1 号站的 M1064～M1095、D10～D13……第 7 号站的 M1448～M1479、D70～D73 刷新。

模式 2 时，对 FX_{1N}、FX_{2N} 及 FX_{2NC} 的 PLC 来说，可对每站 64 点位软元件和 8 点字软元件进行刷新，即可对第 0 号站的 M1000～M1063、D0～D7，第 1 号站的 M1064～M1127、D10～D17……第 7 号站的 M1448～M1511、D70～D77 刷新。

（4）重试次数的设置（D8179）。D8179 的设定值范围为 0～10（默认值为 3），该设置仅用于主站。当通信出错时，主站就会根据设置次数自动重试通信。

（5）通信超时时间设置（D8180）。通信超时是主站点与从站点之间的通信驻留时间。D8180 的设定范围为 5～55，默认值为 5，该值乘以 10ms 就是通信超时时间。该设置仅用于主站。

以上设置只有在程序运行或 PLC 启动时才有效。

实例 83：3 台 FX_{2N} PLC 通过 N：N 通信网络配置及通信程序

实例说明

通过本实例来说明 FX_{2N} PLC 通过 N：N 通信网络配置及通信的方法。图 7-8 所示为 3 台 FX_{2N} 系列的 PLC 通过 N：N 网络交换数据结构简图。

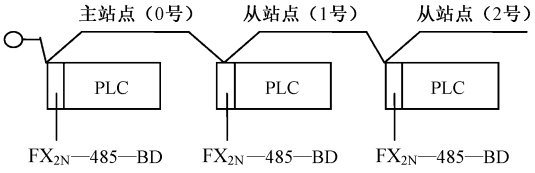


图 7-8　N：N 连接网络

该系统刷新范围设置为模式 1，重试次数为 3 次，通信超时时间为 50ms。系统所进行的操作如下。

（1）通过 M1000～M1003，用主站的 X0～X3 来控制 1 号从站的 Y10～Y13。

（2）通过 M1064～M1067，用 1 号从站的 X0～X3 来控制 2 号从站的 Y14～Y17。

（3）通过 M1128～M1131，用 2 号从站的 X0～X3 来控制主站的 Y20～Y23。

（4）主站的数据寄存器 D1 为 1 号从站的计数器 C1 提供设定值。C1 的触点状态由 M1070 映射到主站的 Y5 输出点。

实例实现

按照通信控制要求，需要设计主站设定程序、主站的通信程序、从站 1 的程序和从站 2 的程序，各梯形图程序和对应的指令表如图 7-9～图 7-12 所示。

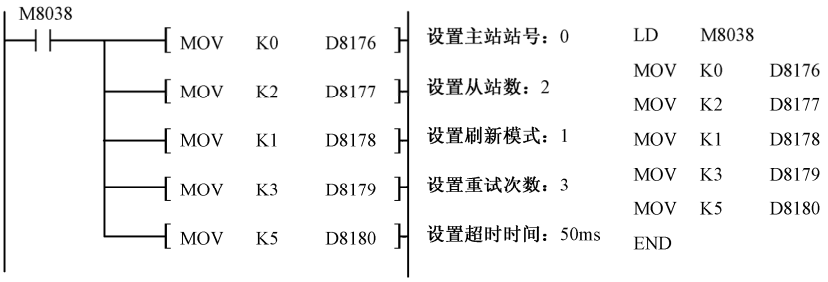


图 7-9　N：N 网络参数的主站设定程序

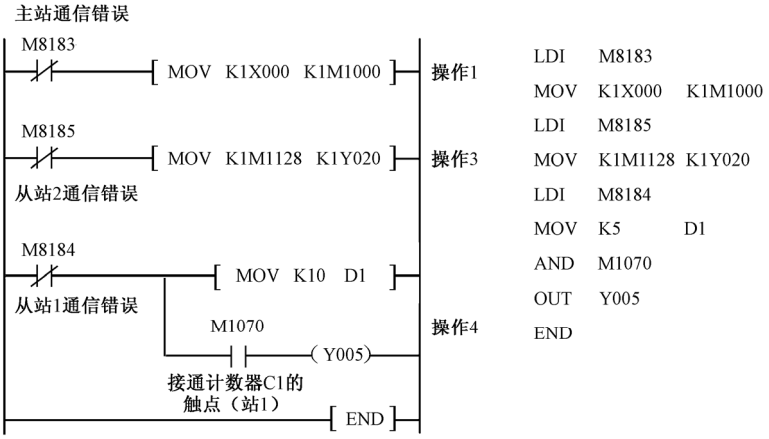


图 7-10　主站的通信程序

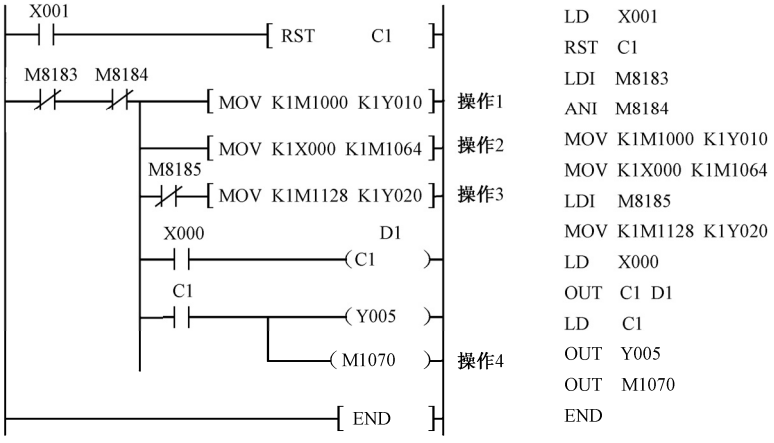


图 7-11　从站 1 通信程序

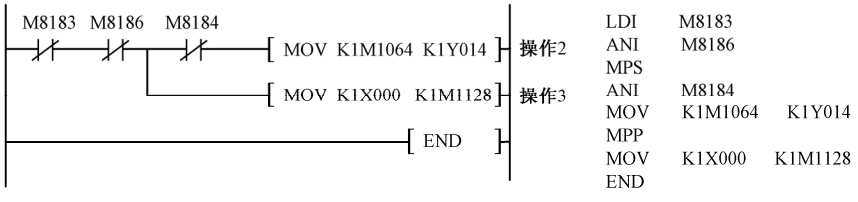


图 7-12　从站 2 通信程序

实例分析

N∶N 通信网络设置只有在程序运行或 PLC 启动时有效。各工作站号由 D8176 设置，主站为 0 号，从站为 1～7。从站个数最多为 7，由 D8177 设置。本例中为实现由 3 台 FX_{2N} 系列的 PLC 所构建的 N∶N 网络的数据交换所进行的设置如表 7-4 所示。

表 7-4　例 85 中的主站、从站 1 和从站 2 的通信参数设置

通信参数	主　站	从站 1	从站 2	说　明
D8176	K0	K1	K2	站号
D8177	K2			总从站数：2 个
D8178	K1			刷新范围：模式 1
D8179	K3			重试次数：3 次（默认）
D8180	K5			通信超时：50ms（默认）

7.2.2　双机并行连接通信

并行连接（Parallel Link）用来实现两台同一组的 FX 系列 PLC 之间的数据自动传送。FX 系列 PLC 的分组情况如表 7-5 所示。

表 7-5　FX 系列 PLC 分组一览

组　号	组 1	组 2	组 3	组 4	组 5
PLC 系列	FX_{2N}，FX_{2NC}	FX_{1N}	FX_{1S}	FX_{0N}	FX，FX_{2C}

并行连接的工作模式分为两种，即标准模式（Normal Mode）和高速模式（High Speed Mode），由特殊辅助继电器 M8162 来设置。主站与从站之间通过周期性的自动通信相应的辅助继电器和数据寄存器实现数据共享，与并行连接有关的标志寄存器和特殊数据寄存器如表 7-6 所示。

表 7-6　与并行连接有关的标志寄存器和特殊数据寄存器

元 件 名	操　作
M8070	状态为 ON 时，PLC 作为并行连接的主站
M8071	状态为 ON 时，PLC 作为并行连接的从站
M8072	状态为 ON 时，PLC 运行在并行连接方式
M8073	当 M8070 和 M8071 并行连接时，其中任何一个设置有错时为 ON
M8162	状态为 OFF 时，为标准模式；状态为 ON 时，为高速模式
D8070	并行连接的监视时间，默认值为 500ms

一般模式（M8162=OFF）的通信示意图如图 7-13 所示。高速模式（M8162=ON）的通信示意图如图 7-14 所示。

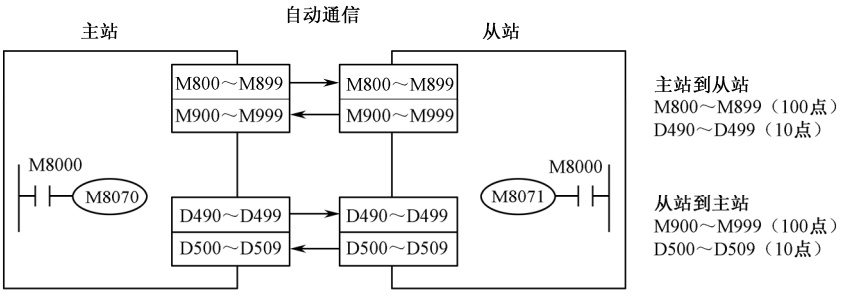


图 7-13　一般模式通信示意图

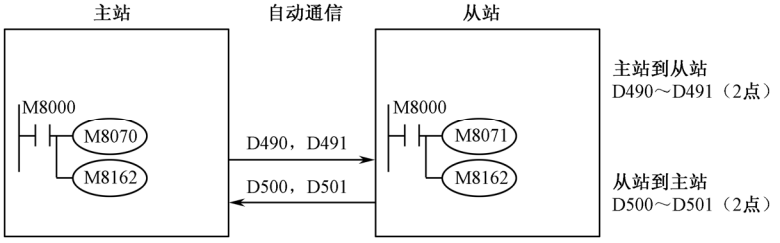


图 7-14　高速模式通信示意图

实例 84：两台 FX_{2N} PLC 通过 1∶1 并行连接通信

实例说明

通过本实例来说明 FX_{2N} PLC 通过 1∶1 并行连接通信网络配置及通信方法，实现功能如下。

主站的 X0～X7 通过 M800～M807 控制从站的 Y0～Y7。

从站的 X0～X7 通过 M900～M907 控制主站的 Y0～Y7。

主站的 D0 的值小于或等于 100 时，从站中的 Y10 为 ON。

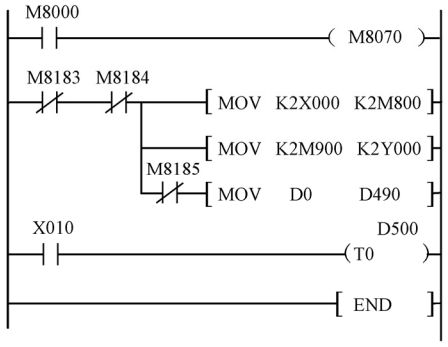
从站中 D10 的值作为主站的 T0 设定值。

实例实现

按照通信控制要求，需要设计主站程序和从站程序两部分，各部分梯形图程序按照要求设计的梯形图和对应的指令表分别如图 7-15 和图 7-16 所示。

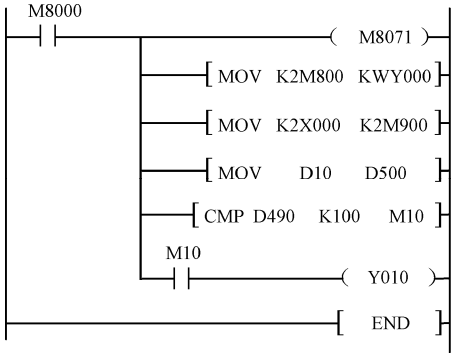
实例分析

双机并行连接是指使用 RS—485 通信适配器或功能扩展板连接两台 FX 系列 PLC（1∶1 方式），以实现两 PLC 之间的信息自动交换。其中一台 PLC 作为主站，另一台作为从站。双机并行连接方式下，用户不需要编写通信程序，只需设置与通信有关的参数，两台计算机之间就可以自动地传送数据。最多可以连接 100 点辅助继电器和 10 点数据寄存器的数据。




```
LD    M8000
OUT   M8070
LDI   M8183
ANI   M8184
MOV K2X000      K2M800
MOV K2M900      K2Y000
LDI   M8185
MOV D0          D490
LD    X010
OUT   T0        D500
```

图 7-15　主站通信程序




```
LD    M8000
OUT   M8071
MOV K2M800      K2Y000
MOV K2X000      K2M900
MOV D10         D500
CMP   D490      K100    M10
ANI   M10
OUT   Y010
END
```

图 7-16　从站通信程序

7.3　计算机连接与无协议数据传输

在计算机与 PLC 的通信中，多台 PLC 通过 RS—485 接口适配器或接口功能扩展板及数据连接线来实现与一台计算机之间的信息、数据的交换。我们把这种通信网络称为 1∶N 网络。一台计算机可连接的 PLC 台数可达 16 台之多。在通信过程中，计算机发出读写 PLC 数据命令，PLC 收到后返回响应。

7.3.1　串行通信协议的格式

计算机与 PLC 之间互连通信的实现，在计算机中必须依据互连的 PLC 的通信协议来编写通信程序。

FX 系列 PLC 采用异步格式，由 1 位起始位、7 位数据位、1 位偶校验位及 1 位停止位组成，波特率为 9600bit/s，字符为 ASCII 码，如图 7-17 所示。

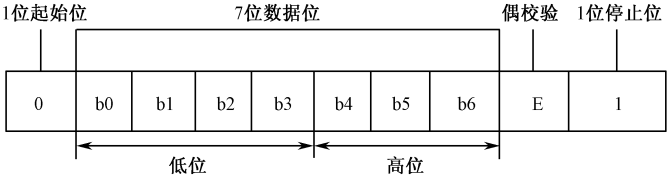


图 7-17　串行通信协议的格式

起始位：标志着一个新字节的开始。当发送设备要发送数据时，首先发送一个低电平信号，起始位通过通信线传向接收设备，接收设备检测到这个逻辑低电平后就开始准备接收数据位信号。

数据位：起始位之后就是 5、6、7 或 8 位数据位，IBM 计算机中经常采用 7 位或 8 位数据传送。当数据位为 0 时，收发线为低电平；反之为高电平。

奇偶校验位：用于检查在传送过程中是否发生错误。若选择偶校验，则各位数据位加上校验位使字符数据中为“1”的位为偶数；若选择奇校验，其和将是奇数。奇偶校验位可有可无，可奇可偶。

停止位：停止位是低电平，表示一个字符数据传送的结束。停止位可以是一位、一位半或两位。

在两个串行通信设备进行任意通信前，必须对上述参数，如传送数据的信息格式，包括起始位、数据位、奇偶校验位、停止位和波特率等，在通信双方中设置一致，才可进行可靠的通信，该设置是由 PLC 中的特殊数据寄存器 D8120 设定的，如表 7-7 所示。

表 7-7　D8120 数据寄存器在串行通信时的格式设定

位号	名　称	功 能 说 明	
		位为“0”	位为“1”
b0	数据长度	7 位	8 位
b1 b2	奇偶位	（b2，b1）：（0，0）无；（0，1）奇校验；（1，1）偶校验	
b3	停止位	1 位	2 位
b4 b5 b6 b7	波特率（bit/s）	（b7b6b5b4）：（0011）波特率为 300；（0100）波特率为 600；（0101）波特率为 1200；（0110）波特率为 2400；（0111）波特率为 4800；（1000）波特率为 9600；（1001）波特率为 19 200；	
b8	起始符	无	有效（D8124）默认：STX（02H）
b9	结束符	无	有效（D8125）默认：ETX（03H）
b10 b11 b12	控制线	无协议	（b12b11b10）：（000）无作用（RS—232C 接口）；（001）端子模式；（010）互连模式（RS—232C 接口）；（011）普通模式 1（RS—232C 接口）（RS—485 接口）；（101）普通模式 2（RS—232C 接口）
		计算机连接	（000）RS—485 接口；（010）RS—232C 接口
b13	和校验	没有添加和校验码	自动添加校验码
b14	协议	无协议	专用协议
b15	传输控制协议	协议格式 1	协议格式 4

注：① 当使用计算机与 PLC 连接时，b8、b9 置“0”；
② 当使用无协议通信时，b13、b14、b15 置“0”。

其中，b0 为最低位，b15 为最高位。

参数设定 D8120 后关闭 PLC 电源，而后重新接通电源后，则计算机与 PLC 的通信格式就确定了。

通信格式要求：数据长度为 8 位，偶校验，1 个停止位，传输速率 19200bit/s，无起始位和结束位，无校验和，计算机连接协议，RS—232C 接口，控制协议格式 1。

基于表 7-7 可知，D8120 设置对应的二进制值为 0100 1000 1001 0111；对应的十六进制数为 4897H。

7.3.2 计算机连接通信协议

在计算机连接通信中，计算机和 PLC 之间有 3 种数据传递形式：计算机从 PLC 中读数据、计算机向 PLC 写数据、PLC 向计算机写数据。

1．数据传输的基本格式

数据传输的基本格式如图 7-18 所示。通过特殊寄存器 D8120 的 b15 位，可以选择计算机连接协议的两种格式（格式 1 和格式 4），报文末尾上控制代码 CR/LF（回车、换行符）只有在控制协议格式 4 时才有。只有当数据寄存器 D8120 的 b13 位置为 1 时，PLC 才在报文中加上校验和代码。

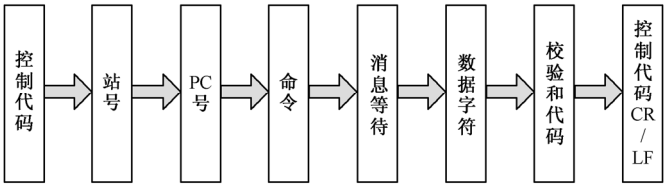


图 7-18　数据传输的基本格式

2．计算机读取 PLC 数据的数据传输格式

这里以协议格式 1 为例，介绍计算机读取 PLC 数据的数据传输格式，如图 7-19 所示。

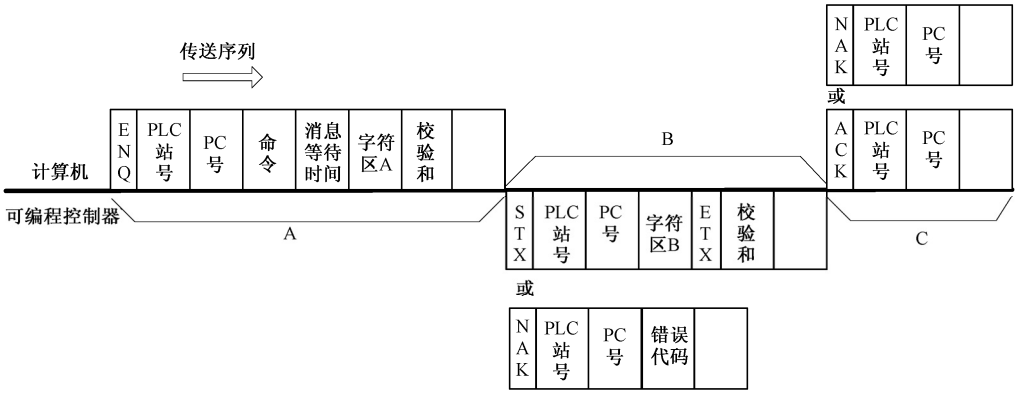


图 7-19　计算机读取 PLC 数据的数据传输格式

A 区是计算机向 PLC 发送的读数据命令报文，以控制代码 ENQ 开始，后面是计算机要发送的数据，数据按从左至右的顺序发送。

PLC 接收到计算机的命令后，向计算机发送计算机所要求的数据，该报文以控制代码 STX 开始（图中 B 区）。

计算机接收到从 PLC 中读取的数据后，向 PLC 发送确认报文，该报文以 ACK 开始（图中 C 区），表示数据收到。

计算机向 PLC 发送读数据的命令有错误时（如命令格式错误或 PLC 站号不符等），或者在通信过程中产生错误，PLC 将向计算机发送有错误代码的报文，即图中 B 区以 NAK 开始的报文，通过错误代码告诉计算机产生通信错误的可能原因。

计算机接收到 PLC 发来的有错误的报文时，向 PLC 发送无法确认的报文，即图中的 C 部分以 NAK 开始的报文。

3．计算机向 PLC 写数据的数据传输格式

计算机向 PLC 写数据的数据传输格式只包括 A、B 两部分，如图 7-20 所示。

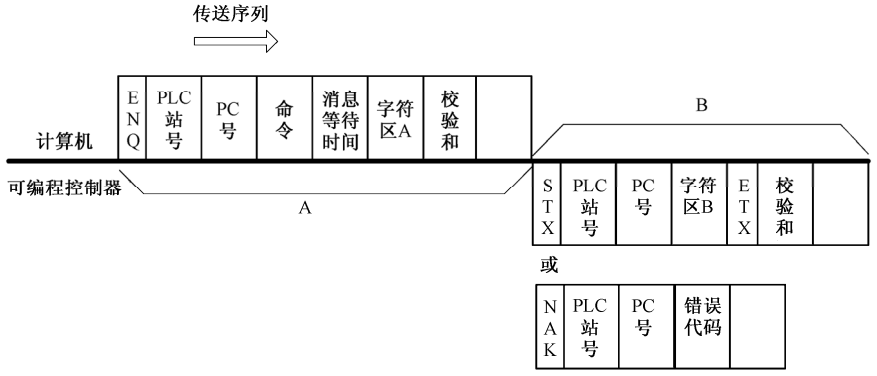


图 7-20　计算机向 PLC 写数据的数据传输格式

计算机首先向 PLC 发送写数据命令报文，（图中 A 区），PLC 收到计算机的命令后，执行相应操作，然后向计算机发送确认报文（图中 B 区以 STX 开头的报文），表示写操作已执行。

若计算机发送的写命令有错误或在通信过程中出现了错误，PLC 将向计算机发送图中 B 部分的以 NAK 开头的报文，通过错误代码告诉计算机产生通信错误的可能原因。

4．对控制协议各部分的说明

（1）控制代码。计算机连接的控制代码如表 7-8 所示。

表 7-8　控制代码

信　号	代　码	功 能 描 述	信　号	代　码	功 能 描 述
STX	02H	文本起点	LF	0AH	换行
ETX	03H	文本终点	CL	0CH	清除
EOT	04H	传送结束	CR	0DH	回车
ENQ	05H	询问	NAK	15H	不确认
ACK	06H	确认			

在工作过程中，若 PLC 接收到 ENQ、ACK、NAK 中的任何一个时，PLC 都将会初始化传输过程，并开始启动。若 PLC 接收到 EOT 或 CL 代码，则 PLC 也将初始化传输过程，只是此时的 PLC 将不做响应。

（2）站号。

站号用来确定计算机所访问的 PLC。在 FX 系列 PLC 中，站号是通过特殊数据寄存器 D8121 来设定的，如图 7-21 所示。设定范围为 00H～0FH，站号不必按数字顺序设定。站号设定时，不能把多个站设定为相同的号码；否则，传输数据将会产生混乱，引起通信不正

常故障。

（3）PC 号。PC 号是用于三菱 A 系列 PLC 的 MELSECNET(Ⅱ)或 MELSECNET/B 网络中的 CPU 的数字，用两个 ASCII 字符表示。因此 FX 系列 PLC 的 PC 号是由十六进制数 FF 代表的。

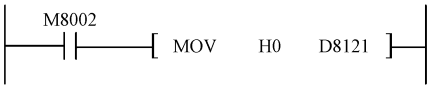


图 7-21　通信系统中的 0 号站的设定

（4）命令。用来指定要求的操作，如读、写等。命令用两位 ASCII 字符定义。

（5）消息等待。一些计算机在发送和接收状态转换时需要一定的延迟时间。消息等待时间决定了 PLC 从计算机接收到一个消息之后到它发送数据之前需要等待的最少时间。等待时间以 10ms 为单位，可在 0～150ms 之间根据需要具体设定。

在 1∶N 系统中使用 485PC—IF 时，必须设定消息等待时间为 70ms 或更长。如果网络中 PLC 的扫描时间大于或等于 70ms，则消息等待时间须设定为最大扫描时间或更长。

（6）和校验代码。和校验代码是用来校验接收到的信息中数据的正确与否的。将消息的第一个控制代码与和校验代码之间所有字符的十六进制数形式的 ASCII 码求和，总计结果的低两位数字（十六进制）作为校验和代码，并且以 ASCII 码形式放在消息的结尾处。特殊寄存器 D8120 的 b13 可设定是否向消息添加和校验代码。若 b13 为 1，则传送时和校验代码被自动添加到消息中，根据接收到的数据计算出新的校验和值，将其与接收到的校验和值进行比较；就可检查出接收到的消息正确与否。若 b13 为 0，校验和代码将不被添加，接收的数据不进行检查。

实例 85：通信端口初始化

实例说明

串行通信是计算机与其他机器之间进行通信的一种常用方法，在 Windows 操作系统中提供了实现各种串行通信的 API 函数。通过 SC-08 编程电缆或 FX232AW 模块，可将计算机的串行通信口 RS—232 和 PLC 的编程口连接起来，这样计算机就可对 PLC 的 RAM 区数据进行读、写操作了。

实例实现

根据 PLC 本身所具有的特性，计算机可对 PLC 进行以下 4 种类型的操作：

（1）位元件或字元件状态读操作（CMD0）；

（2）位元件或字元件状态写操作（CMD1）；

（3）位元件强制 ON 操作（CMD7）；

（4）位元件强制 OFF 操作（CMD8）。

用 VC++语言实现端口初始化如下：

```
BOOL CSerial::Open(int nPort)
{
//nPort 为微型计算机串行通信口端口号。nPort=1 为端口 1；nPort=2 为端口 2
char szPort\[15\];
DCB dob;
```

```
m_hIDComDev=CreateFile(szPort,GENERIC_READ|GENERIC_WRITE,0,NULL,OPEN_
EXISTING,FILE_ATTRIBUTE_NOMAL|FILE_FLAG_OVERLAPPED,NULL)
dcb.DCBlength=sizeof(DCB);
GetCommState(m_hIDCDev,&dcb);        //取得通信资源当前设置
dcb.BaudRate=9600;                   //设定波特率为 9600bit/s
dcb.ByteSize=7;                      //7 位数据
dcb.Parity=2;                        //偶校验
dcb.StopBits=0;                      //设定 1 个停止位
if(SetCommState(m_hIDComDev,&dcb)) return(TRUE))
else return(FALSE);          //设置端口，若设置成功，则返回 TURE；否则，返回 FALSE
}
```

需要说明的是，CSerial 是一个用于串行通信的类，它包含了进行串行通信所需的函数。

除上述端口初始化成员函数 Open 外，还包括另两个重要的成员函数：endData，把数据从一个缓冲区发送到串行端口；ReadData，从端口的接收缓冲区中写入数据。

在每进行一次上述 4 类操作的一种操作前，还要进行握手联络。对 PLC 发请求 ENQ（代码为 0X05），然后读 PLC 的响应信号，如果读到的响应信号为 ACK（代码 0X06），则表示 PLC 已准备就绪，等待接收通信数据。握手联络表示 PLC 已准备就绪，等待接收通信数据。握手联络 VC++语言实现如下：

```
BOOL CNTJD1g::ReadFromPLC(char *Read_char char *Read_address,int
eadbyes)
{
CSerial Serial;                      //用于串行通信的类
char read_BUFFER;
if(Serial.Open(2)                    //初始化串行口通信口 COM2
{Serial.SendData(&ENQ_request,1);    //发送联络信号
Sleep(1000);                         //等待 1s
Serial.ReadData(&read_BUFFER,1);     //读取 PLC 响应信号
if(read_BUFFER= =ACK)
{如果 PLC 响应信号等于 ACK，则进行上述四种操作：}
}
Serial.Close();                      //操作完毕，关闭通信口
}
```



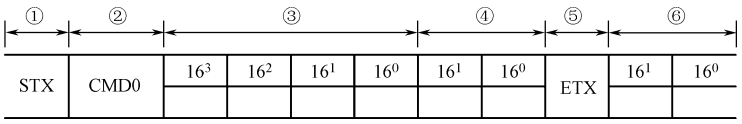
实例分析

在对 PLC 编程口进行上述 4 类操作之前，必须先要对端口进行初始化操作，即设定通信协议（设置通信波特率、数据位数、数据停止位及奇偶校验等）。在 Windows 的 SDK 中定义了一个结构 DCB，该结构详细地说明了如何对通信端口进行控制，所以通信端口的初始化也是围绕着这个结构的正确设置为中心进行的。

5．编程口命令的操作

（1）位元件或字元件状态读操作。

操作对象：PLC 内部的 X、Y、M、S、T、C、D 元件。命令格式如下：



说明如下：

① 为读命令起始标志 STX，代码为 OX02；

② 为位元件或字元件状态读命令 CMDO，命令代码为 OX30；

③ 为读位元件或字元件的 4 位起始地址，高位先发，低位后发，并且以 ASCII 码的形式发送；

④ 为一次读取位元件或字元件的个数，最多一次可读取 OXff 个字节的元件，以 ASCII 码的形式发送；

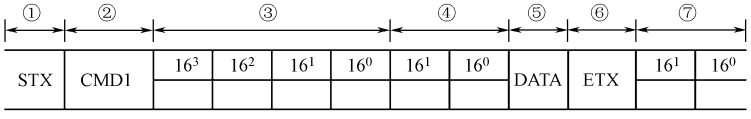
⑤ 为停止位标志 ETX，代码为 OX03；

⑥ 为 2 位和校验，和累计为②、③、④项代码，取其和最低两位转化成 ASCII 码，高位先发，低位后发。

在发送完上述命令格式代码后，就可直接读取 PLC 响应的信息。

（2）位元件或字元件状态写操作。

操作对象：PLC 内部的 X、Y、M、S、T、C、D 元件。命令格式如下：



说明如下：

① 为写命令起始标志 STX，代码为 OX02；

② 为位元件或字元件状态写命令 CMD1，命令代码为 OX31；

③ 为写位元件或字元件的 4 位起始地址，高位先发，低位后发，并且以 ASCII 码的形式发送；

④ 为一次写入位元件或字元件的个数，以 ASCII 码的形式发送；

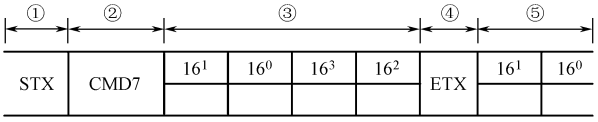
⑤ 为待写到 PLC RAM 区的数据 DATA，以 ASCII 码形式发送；

⑥ 为停止位标志 ETX，代码为 OX03;

⑦ 为 2 位和校验，和累计为②、③、④项代码，取其和最低两位转化成 ASCII 码，高位先发，低位后发。

（3）位元件强制 ON 操作。

操作对象：X、Y、M、S、T、C 元件。命令格式如下：



说明如下：

① 为强制 ON 命令起始标志 STX，代码为 OX02；

② 为强制 ON 命令 CMD7，命令代码为 OX37；

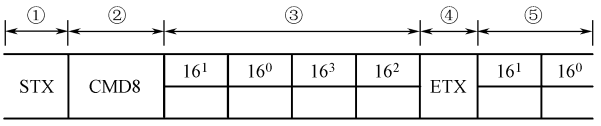
③ 为强制 ON 位元件 4 位起始地址，高位先发，低位后发，并且以 ASCII 码形式发送；

④ 为停止位标志 ETX，代码为 OX03；

⑤ 为 2 位和校验，和累计为②、③、④项代码，取其和低两位转化成 ASCII 码，高位先发，低位后发。

（4）位元件强制 OFF 操作。

操作对象：X、Y、M、S、T、C 元件。命令格式如下：



说明：

① 为强制 OFF 命令起始标志 STX，代码为 OX02；

② 为强制 OFF 命令 CMD8，命令代码为 OX38H；

③ 为强制 OFF 位元件 4 位起始地址，高位先发，低位后发，以 ASCII 码形式发送；

④ 为停止位标志 ETX，代码为 OX03；

⑤ 为 2 位和校验，和累计为②、③、④项代码，取其和最低两位转化成 ASCII 码，高位先发，低位后发。

注意：必须严格按照上述 4 种操作命令格式进行发送，在发送前，起始地址、数据、数据个数、校验和都必须按位转换成 ASCII 码。从 PLC 读到的数据也是 ASCII 码形式，需要经过适当转换才能利用。另外，要注意强制命令地址与读写地址的顺序不一样，并且一次最多只能传送 64 字节数据。

利用上述 4 种操作命令，可对 PLC 的 RAM 区数据进行管理操作。将 PLC 的工作状态纳入微型计算机管理之下。在此基础上，用户可以应用且方便地设计自己的 PLC 人机接口界面，为监控与管理 PLC 的运行提供一种良好的方法。

7.3.3 无协议数据传输

1．指令格式

无协议通信是实现 PLC 与上位机、打印机或条形码阅读器等之间的无协议数据通信的功能。在 FX 系列中，它是由 RS 指令通过 RS—232C 端口来发送和接收串行数据的。RS 串行通信指令如图 7-22 所示。

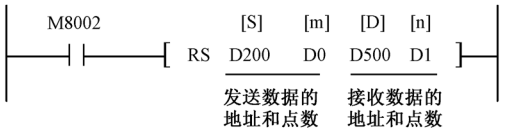


图 7-22　RS 串行通信指令

指令中的[S]和[m]用来指定发送数据的地址和字节数（不包括起始字符与结束字符）；[D]和[n]用来指定接收数据的地址和可接收的最大字节数；[m]和[n]为常数和数据寄存器 D（1～255、FX_{2N} 为 1～4096）。

2．与 RS 指令相关的标志和数据寄存器

（1）发送请求（M8122）。当 M8122 被一个接收等待或接收完成状态下的脉冲指令设置时，数据被发送。发送结束时，M8122 自动复位。RS 指令被驱动时，PLC 总是处于接收等待状态。

（2）接收完成（M8123）。当接收完成标志 M8123 被接通时，接收到的数据由数据接收

缓存区传送到其他存储区，然后复位 M8123，PLC 再次处于接收等待状态，等待接收数据。

若 RS 指令中的接收数据字数设置为“0”，则 M8123 不被驱动且 PLC 也不被置于接收等待状态。如果 PLC 由此状态置为接收等待状态，需将接收数据字节数设定为一个大于或等于“1”的值，然后复位 M8123。

（3）载波检测（M8124）。当调制解调器与 PLC 已经建立起连接时，如果接收到调制解调器发给 PLC 的 CD（DCD）信号（通道接收载波检测），则载波检测标志 M8124 变为 ON，可以接收或发送数据。当 M8124 为 OFF 时，可以发送拨号号码。

（4）超时测定（M8129）。当数据接收中途中断时，如果在由 D8129 指定的时间内没有恢复接收数据，则被视为超时，超时判定标志 M8129 置位，接收结束。M8129 不能自动复位，需用户程序将其复位。使用 M8129 可以在没有结束符的情况下判断字数不定的数据的接收是否结束。

注意：对于 FX_{2N} 和 FX_{2NC} 系列的 PLC，超时判定标志 M8129 和 D8129 仅适用于低于 V2.00 的版本。

（5）超时测定时间（D8129）。设置的超时判定时间等于 D8129 的值乘以“10ms”。当 D8129 设定为“0”时，超时判定时间为“100ms”。超时测定时间被设置为“50ms”时的程序实现如图 7-23 所示。

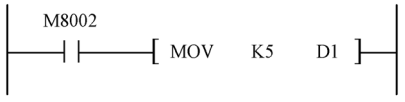


图 7-23　超时测定时间的设置

3．RS 数据传输

数据的传输格式（数据的位数、奇偶校验位、停止位、传输速率等）通过初始化脉冲 M8002 驱动的 MOV 指令写入特殊数据寄存器 D8120 中。无数据发送时，发送数据字节数置“0”；不需接收数据时，最大接收字节数置“0”。

无协议通信有两种数据处理方式，即 M8161 为“OFF”时的 16 位数据处理模式和 M8161 为“ON”时的 8 位数据处理模式。二者的区别在于是否使用 16 位数据寄存器的高 8 位。16 位模式下，先发送或接收数据寄存器的低 8 位，然后是高 8 位；8 位模式下，只发送或接收数据寄存器的低 8 位。

用 RS 指令发送/接收数据程序如图 7-24 所示。

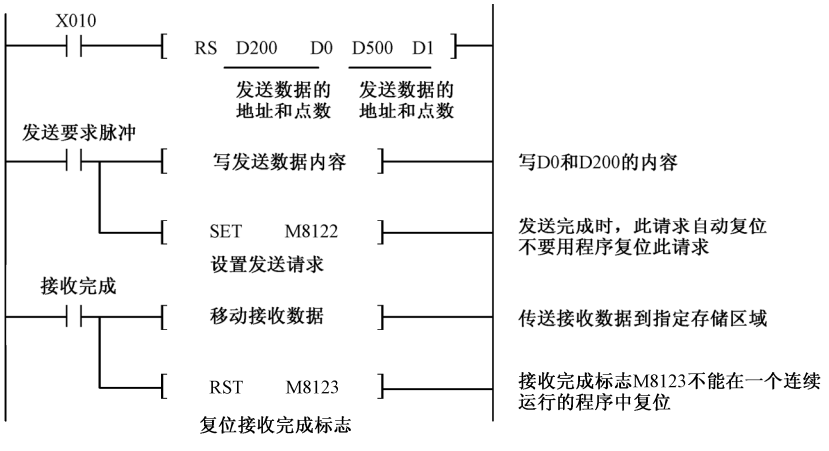


图 7-24　RS 指令发送/接收数据程序

数据的传输格式首先被写入特殊数据寄存器 D8120 中（如果发送的数据长度是变化的，需设置新的数据长度）。RS 指令被驱动后，PLC 被置为等待接收状态；在发送请求脉冲驱动下，向指定的发送数据区写入指定数据，并置位发送请求标志 M8122。发送完成后，M8122 被自动复位。数据接收完成后，接收完成标志 M8123 被置位。用户程序利用 M8123 将接收的数据存入指定的存储区。若还需要接收数据，需要用户程序将 M8123 复位。

注意：在程序中可以使用多条 RS 指令，但是同一时刻只能有一条 RS 指令被驱动。在不同 RS 指令之间切换时，应保证 OFF 时间间隔大于或等于一个扫描周期。

实例 86：PLC 与三菱公司的变频器的无协议通信应用

实例说明

纺织工艺加湿系统是 PLC 根据现场某个变量自动控制变频器的运转频率而进行无协议通信的典型例子。

实例实现

（1）系统方案：加湿器广泛应用于纺织行业，是纺织工艺的最后一个环节，它将水泵提升的液体切割成雾状后，均匀地喷洒在布匹等织物的表面，用于增加布匹的光泽和柔韧性。在电气方面，加湿器主要有编码器、三菱 FX_{IN}—20MR、FX_{IN}—485BD、HITECH 人机、变频器等。加湿器利用编码器和 PLC 测量布匹的卷取速度，然后根据卷取速度的快慢来控制变频器的运转频率，以控制水泵的流量，进而控制喷洒在布匹等织物表面的液量。通过 RS—485BD 模块进行 PLC 和变频器之间的无协议通信，根据卷取速度的快慢将运转频率自动写入变频器中。而人机则主要完成系统的启动、停止、参数设定等功能。RS—485BD 模块的接线如图 7-25 所示。

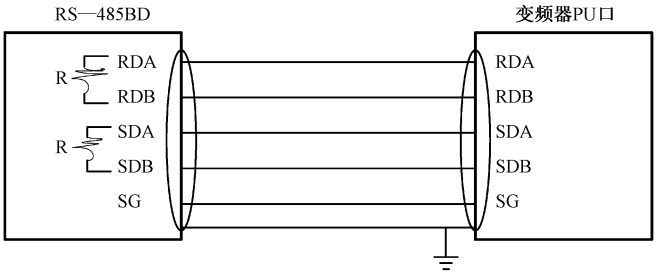


图 7-25　RS—485BD 模块接线

图 7-25 中，通信线一定要使用屏蔽双绞线，RS—485BD 侧的屏蔽线一定要接地（100Ω）。R 为终端电阻。RDA 和 RDB 及 SDA 和 SDB 之间的电阻为 110Ω（半双工方式）。

（2）无协议通信参数设定：无协议通信参数主要由特殊数据寄存器 D8120 设定，具体设置如表 7-9 所示。

表 7-9　特殊数据寄存器 D8120 参数设定

位　　号	意　　义	0（OFF）	1（ON）
b0	数据长度	7 位	
b1、b2	奇偶性	（0，0）无校验	
b3	停止位	1 位	
b4～b7	波特率	（1,0,0,0）9600bit/s	
b8	头标志字符	无	
b9	尾标志字符	无	1
b10	控制线形式		
b11	DTR 检查		1
b12	控制线形式	0	
b13	和校验	0	
b14	协议	0	

（3）通信程序：图 7-26 所示为三菱 FX 系列 PLC 和三菱 E 系列变频器通信程序。

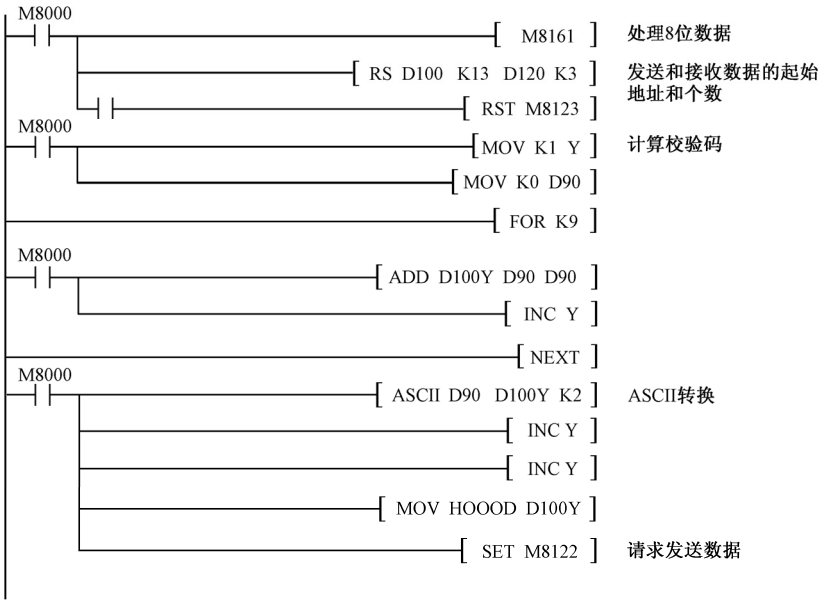


图 7-26　三菱 FX 系列 PLC 和三菱 E 系列变频器通信程序

实例分析

上述无协议实现 PLC 和变频器通信的基本方法和通信程序能够很好地实现生产过程中相关的控制问题。该方法易于扩充，当使用多台变频器时，只需把变频器的站号设为不同，就可以较好地解决模拟量通道受限的问题。

思考题

1．通信系统的基本组成有哪几部分构成？各部分的作用是什么？
2．数据通信有几种基本方式？各种方式有何优缺点？
3．什么是通信协议？起什么作用？
4．简述 RS—232C 和 RS—485 在通信速率、通信距离和可连接的站数等方面的区别。
5．简述计算机用计算机连接协议读取 PLC 的数据时，双方的数据传输过程。
6．简述计算机用计算机连接协议向 PLC 写入数据时，双方的数据传输过程。
7．无协议通信方式有何特点？

第8章 人机界面

当今世界，自动化控制水平越来越高，控制过程越来越复杂，作为控制系统的缔造者——人，将如何干预与监视这些控制过程呢？人机界面技术正是在这一需求下产生的。

人机界面（Human-Machine-Interface，HMI），顾名思义就是指介于人和 PLC 之间的一个界面，是人与控制过程交流信息的窗口，操作人员可以通过它与 PLC 控制系统进行信息数据的交流和处理，从而便控制过程变得清晰与透明。

作为控制系统的一种重要核心部件，PLC 与人机界面的结合是必不可少的。过去采用按钮、开关和指示灯等作为人机界面装置，提供的信息少且操作困难，采用数码管和拨码开关，又会占用 PLC 大量的 I/O 资源。随着计算机技术的发展，人机界面装置逐步出现了屏幕显示的面板或触摸屏等形式，同时它们的防护等级与可靠性完全按照工业现场设计，从而成为了 PLC 系统的最佳拍档。

8.1 三菱人机界面概述

人机界面技术是在计算机技术的基础上发展起来的，因此人机界面包含硬件装置和软件两个方面。下面分别从这两个方面对三菱人机界面的情况加以介绍。

在工业控制中，常用的人机界面有触摸屏、显示模块和小型显示器等。触摸屏是图形式操作终端（Graph Operation Terminal，GOT）在工业控制中的通俗叫法，是目前广泛使用的一种人机交互设备。

8.1.1 触摸屏的工作原理及特点

触摸屏一般由触摸检测装置和触摸屏控制器两部分组成。触摸检测装置安装在显示器屏幕前面并和显示器粘贴在一起，主要用来检测用户触摸的信息，接收后将其传送给触摸屏控制器。当用户用手指或其他物体触碰触摸屏时，所触摸的位置就会被触摸屏检测出来形成坐标值。触摸屏的位置坐标是绝对坐标，一般以屏幕的左上角为原点。

触摸屏控制器主要从触摸检测装置上接收触摸位置信息，并将其转换成触点坐标，发送给 CPU，同时还能接收经 CPU 计算、处理后发回的指令并加以执行。

触摸屏凭借其易用、坚固、空间占用小、反应速度快等特点，广泛应用于一般的通用机械乃至大型复杂的控制系统。其技术的优异特性主要有以下 5 点。

（1）简化了 HMI：使用者无须经过培训，根据屏幕上的提示信息、指令，只须用手指轻触触屏幕就可进行操作。

（2）信息丰富：可以存储如文本、声音、图形图像等种类丰富的信息，并且存储容量可以扩展，任何复杂的数据信息都可纳入多媒体系统。

（3）安全耐用：可长时间稳定、可靠、连续地运行，还可以在键盘和鼠标易受损的恶劣环境中使用。

（4）扩充性好：系统内容和数据可随时增加，并为系统联网运行多数据库的操作等提供方便。

（5）动态联网：根据用户需要，可与各种局域网或广域网相互连接。

8.1.2 触摸屏的分类

按照触摸屏的工作原理及感测形式不同，触摸屏可分为电阻式、电容式、红外式、表面声波触摸屏及近场成像触摸屏等类型。

1. 电阻式触摸屏

电阻式触摸屏的结构及工作原理如图 8-1 所示。它的屏体部分是一块与显示器表面相匹配的多层复合薄膜，由一层玻璃或强化玻璃平板作为基层，表面涂有一层透明的氧化金属导电层（ITO 膜），上面再盖有一层外表面经过硬化处理、光滑防擦的塑料层；塑料层的内表面也涂有一层透明导电层（ITO）膜，在两层 ITO 膜之间有许多细小（小于 1/1000in）的透明绝缘隔离点把它们隔开绝缘。在上下 ITO 膜上分别附有 Y、X 轴两个方向的 5V 均匀电压场，由于电阻式触摸屏利用压力感应进行控制，当手指触压屏幕时，两层 ITO 膜发生接触，控制器同时检测此时的电压及电流值，便可计算出触摸点的坐标位置。电阻式触摸屏根据引出线数的多少，分为四线、五线、六线等多线电阻式触摸屏。电阻式触摸屏是目前工业控制中最常用的触摸屏。

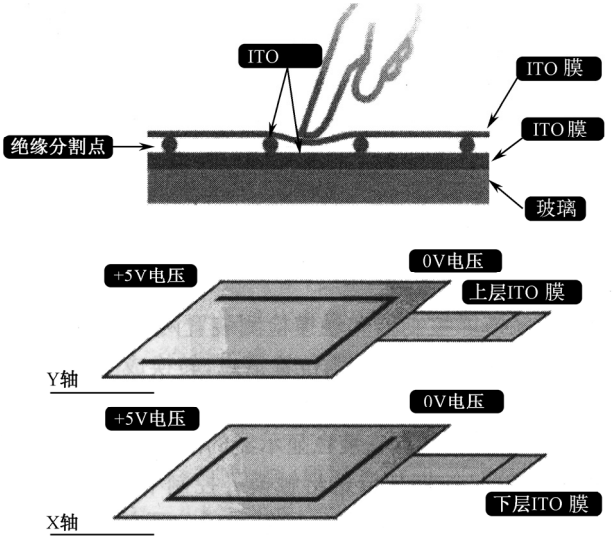


图 8-1　电阻式触摸屏的结构及工作原理

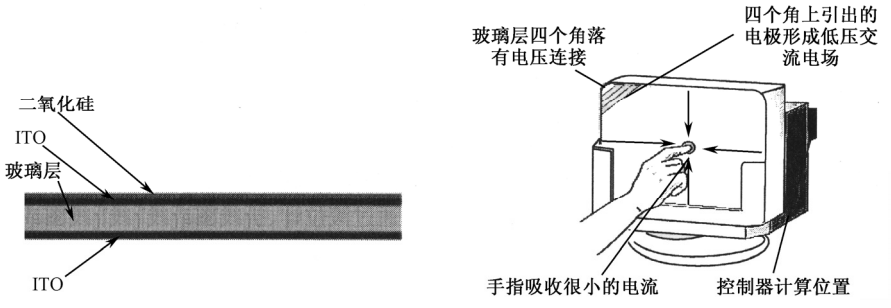
电阻式触摸屏是一种对外界完全隔离的工作环境，不怕灰尘和水汽，可以用任何物体来触摸，比较适合工业控制领域和办公室内使用。因为覆盖层采用塑料材料，用力太大或使用锐器有可能划伤触摸屏，甚至导致整个触摸屏报废。

2. 电容式触摸屏

电容式触摸屏的结构及工作原理如图 8-2 所示，它实际上是一块 4 层复合玻璃屏，玻璃

屏内表面和夹层各涂有一层导电的 ITO 膜，最外层是一薄层硅土玻璃保护层，电极印制于玻璃四周，在导电涂层的四个角引出四个电极，形成一个低压交流电场。

当手指触摸屏幕时，由于人体的电流感应，使用者和触摸屏表面形成耦合电容。对于高频信号来说，电容是直接的导体，人体的手指从接触点吸走一个很小的电流，电流分别从触摸屏四个角上的电极中流出，并且流经这四个电极的电流与手指到四个角的距离成一定的比例，控制器通过对这四个电流比例的精密计算，便得到手指触摸的精确位置，如图 8-2（b）所示。



（a）电容式触摸屏结构　　（b）电容式触摸屏工作原理

图 8-2　电容式触摸屏的结构及工作原理

电容触摸屏的优点：它的双层玻璃不但能保护导体及感应器，而且能有效地防止外在环境因素给触摸屏造成影响，即使屏幕沾有污秽、尘埃或油渍，电容式触摸屏依然能准确算出触摸位置。

电容触摸屏的缺点：电容触摸屏的透光率和清晰度优于四线电阻屏，但比表面声波屏和五线电阻屏略差；电容触摸屏的各层屏对各波长光的透光率不均匀，存在色彩失真的问题，由于光线在各层间的反射，还造成图像字符的模糊，因此电容触摸屏的透光率和清晰度优于四线电阻式触摸屏，但比表面声波触摸屏和五线电阻式触摸屏略差；此外，当环境温度、湿度或环境电场发生改变时，都会引起电容屏的漂移，影响其准确度，在工作现场需要经常校准；若触摸屏刮伤至夹层 ITO，就不能正常工作了。

3．红外式触摸屏

红外式触摸屏的结构和工作原理如图 8-3 所示。红外式触摸屏无须在屏幕表面涂层或接驳控制器，只在其前面安装一个电路板外框，电路板在屏幕的 X 轴、Y 轴方向上密布有红外发射管和接收管，它们一一对应形成一个红外线矩阵。使用者在触摸屏幕时，手指会挡住经过该位置的横竖两条红外线，从而可以判断出触摸点在屏幕上的位置。任何可以遮挡触点上红外线的物体都可实现触摸屏的操作。红外式触摸屏价格便宜、安装容易、能较好地感应轻微触摸与快速触摸，并且不受电流、电压和静电干扰，能在静电、电磁干扰等恶劣的环境下工作，已成为触摸屏产品发展的一种趋势。但是，由于红外式触摸屏依靠红外线感应动作，外界光线变化，如阳光、室内射灯等均会影响其准确度。此外，红外式触摸屏不防水、怕污垢，任何细小的外来物都会引起误差，影响其性能，不适宜置于户外和公共场所使用。

4．表面声波触摸屏

表面声波触摸屏的结构及工作原理如图 8-4 所示。它的触摸部分可以是一块平面、球面或柱面的强化玻璃板，触摸屏没有任何贴膜和覆盖层，安装在 CRT、LED、LCD 或等离子等显示器屏幕的前面，玻璃屏的左上角和右下角分别固定有垂直和水平方向的超声波发射器，右上角则固定了两个相应的超声波接收器。玻璃屏的 4 个周边按 45° 由密到疏刻有间隔且非常精密的反射条纹。工作时，屏幕布满超声波，当手指或物体触及屏幕时，控制器便根据手指或物体吸收或阻挡声波能量的相应数据计算出相应的位置。

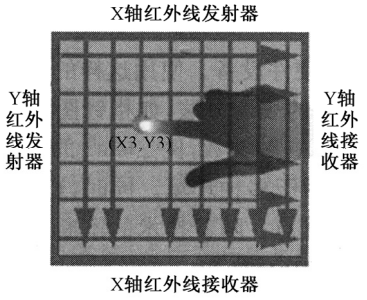


图 8-3　红外式触摸屏的结构和工作原理

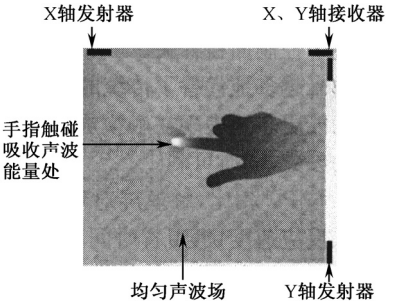


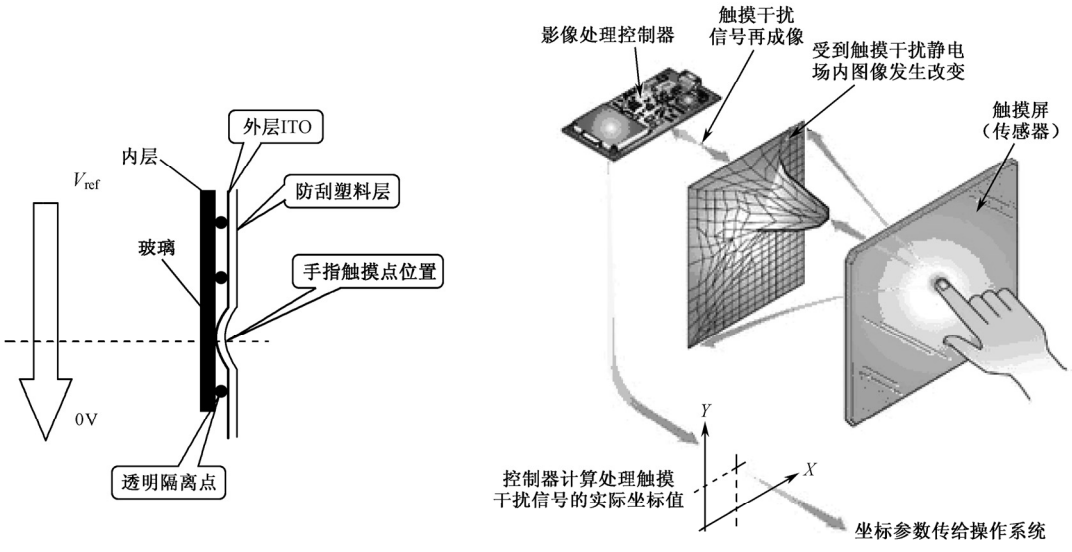
图 8-4　表面声波触摸屏的结构及工作原理

（1）表面声波触摸屏的优点：① 抗暴，因为表面声波触摸屏的工作面是一层看不见、打不坏的面，触摸屏的基层玻璃没有任何夹层和结构应力，因此非常抗暴力使用，适合公共场所；② 反应速度快，表面声波触摸屏是所有触摸屏中反应速度最快的，使用时感觉很顺畅；③ 性能稳定，因为表面声波技术原理稳定，而表面声波触摸屏的控制器靠测量衰减时刻在时间轴上的位置来计算触摸位置，所以表面声波触摸屏非常稳定，精度也非常高，目前表面声波技术触摸屏的精度通常是 4096×4096×256 级力度；④ 控制卡分辨率高，控制器可以快速自动识别手指触摸或干扰物触摸（如尘土、水滴等）；⑤ 具有压力轴响应，它能感知触摸压力。

（2）表面声波触摸屏的缺点：触摸屏表面的灰尘和水滴也阻挡表面声波的传递，虽然“聪明”的控制卡能分辨出来，但尘土积累到一定程度，信号也就衰减得非常厉害，此时表面声波触摸屏变得迟钝甚至不工作。因此厂商一方面推出防尘型触摸屏，另一方面建议每年定期清洁触摸屏。

5．近场成像触摸屏

近场成像（Near Field Imaging，NFI）触摸屏的结构如图 8-5（a）所示。触摸屏的传感机构是中间有一层透明金属氧化物导电涂层的两块层压玻璃。在导电涂层上施加一个交流信号，从而在屏幕表面形成一个静电场。当有手指（戴不戴手套均可）或其他导体接触到传感器的时候，静电场就会受到干扰。而与之配套的影像处理控制器可以探测到这个干扰信号及其位置，并把相应的坐标参数传给操作系统，工作原理如图 8-5（b）所示。近场成像触摸屏非常耐用，灵敏度很好，可以在非常苛刻的环境及公众场合使用，其不足之处是价格比较高。



（a）近场成像触摸屏结构　　（b）近场成像触摸屏工作原理

图 8-5　近场成像触摸屏的结构及工作原理

8.1.3　触摸屏发展趋势

目前，触摸屏在工业现场实现显示和状态监视、实时报警、数字输入及控制等功能，越来越多地代替了传统的按钮开关、仪表等设备，将仪表的功能更多地表现在触摸屏上，用更人性化的表示方法显示被监控的参数。同时可利用触摸屏的功能，修改输入的各种参数，对现场进行操作控制。作为一种交互式输入技术极有发展的前途，世界各大公司投入了大量人力物力进行研发，涌现出许多新型的触摸屏产品。

（1）触摸笔。利用触摸笔进行操作的触摸屏类似白板，除显示界面、窗口、图标外，触摸笔还具有签名、标记等功能。这种触摸笔的功能比早期只提供选择菜单的光笔在功能方面大大加强。

（2）触摸板。触摸板采用了压感电容式触摸技术，屏幕面积大，在 0.01ms 内就可以将信息送到传感器并进行登记处理。除与计算机兼容外，触模板还具有高亮度、图像清晰、易于交互等特点，因而被应用于指点式信息查询系统（如电子公告板），并收到了非常好的效果。

触摸屏今后有向专业化、多媒体化、立体化和大屏幕化发展的趋势，可以预见，随着触摸屏技术的迅速发展，触摸屏的应用领域会越来越广，性能也会越来越好。

（3）计算机。在环境条件较好的控制室内，可以直接采用计算机作为人机界面。

控制室是目前的网络化控制系统的一个重要节点，是它所管辖范围内设备信息的汇集处。控制室内的监控设备往往起到承上启下的作用，向上级管理网络发送现场信息，以及向现场设备传送上级下达的控制指令。作为集中监控的场所，控制室也是向操作人员表达系统信息的重要地点。计算机本身就具有良好的界面，同时具有容量大、操作简便等特点，大型的人机界面组态软件，如“intouch”、“iFix”、“组态王”等都是直接在计算机上运行的。三菱公司出品的大型组态软件“GT-Designer”也是专门在计算机上使用的。

8.1.4 三菱触摸屏

三菱触摸屏是三菱公司推出的 HMI 系列产品，性能优秀，操作上手容易，并且与三菱 PLC 配合得相当好，如支持 BUS 通信、CC-LINK，与 PLC 连接后两者均可直接与计算机通信等，因此获得了市场的青睐。

三菱触摸屏有 900 系列和 1000 系列。之前的 800 系列已经完全退出市场，种类达上百种，以其较高的性能、适中的价格在工控系统中得到较广泛的应用。

900 系列中的 A900 系列属于高性能型，F900 系列则属于经济型，分别面向不同的客户群。经过市场的整合，F900 主要是 F940、F930、F920 等经济、便宜的小尺寸屏，A900 则主要是 A985、A975、A970 等大尺寸屏。而 A960、A950 等高性能的小尺寸屏，或者 F940WGOT 中尺寸的普通屏则很少使用。但随着市场的发展，A900GOT 系列与 F900GOT 的弱点也渐渐体现。例如，A900GOT 系列的存储容量明显不够，而另外增加存储卡又很不经济，F900 系列的色彩也很单调。

2006 年三菱推出新一代人机界面——GOT1000 系列。为了满足不同客户的需要，GOT1000 分为 GT10、GT11 和 GT15 三个系列。其中，GT10 和 GT11 为基本功能机型；GT15 为高性能机型。基本功能机型 GT11 系列中，增加了 10.4in、8.4in 两种机型，满足了客户需要大尺寸低价位的需要，并且各种尺寸均增加了色彩。高性能机型最明显的一点是存储量大大增加，标准内置 9MB 内存，在一般用途中足够客户使用。

目前三菱触摸屏已经形成三种主流产品的三足鼎立局面。

- 超小尺寸：以前的 F920、F930 系列
- 中小尺寸：由于 GT11 系列（5.7～1.04in）涵盖范围较广，以后将成为中流砥柱
- 高性能要求：GT15 系列

1．GT11 系列触摸屏概述

GT11 系列触摸屏具有 TFT 和 STN 两种液晶显示屏，单色或彩色两种显示方式，5V 及 24V 直流供电或 100～240V 交流供电，用户存储器容量为 512KB。根据接口不同又可分为两类：一类以 RS—422 和 RS—232 串口为接口，另一类以 Q 总线或 A 总线为接口。此外，通过三菱公司提供的不同接线电缆，触摸屏还可以和其他厂商的 PLC 相连进行监控，极大地方便了用户。

2．外观

（1）正面图。GT11 系列触摸屏的正面图如图 8-6 所示。

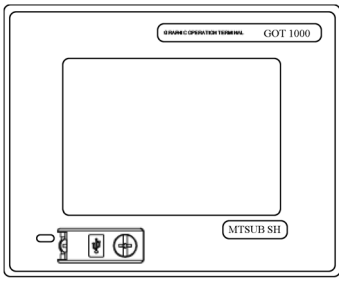


图 8-6　GT11 系列触摸屏的正面图

① 显示屏：用来显示系统内置画面和用户创建的画面。不同型号的触摸屏，其尺寸和分辨率也有区别。

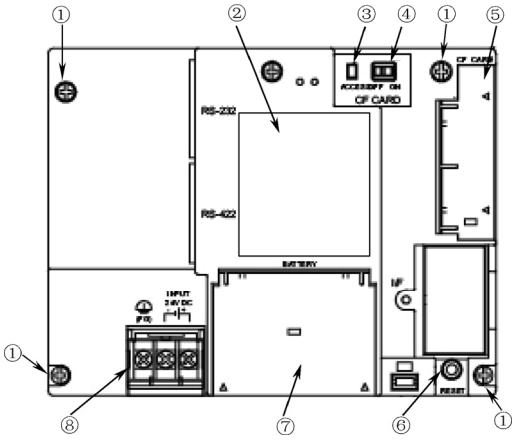
② 触摸按键界面：供运行时操作人员对内置界面或用户创建界面中的按键进行操作。

③ USB 接口：通用 USB 接口，可与计算机相连。

④ USB 接口保护盖：当 USB 接口使用时打开。

⑤ 指示灯：指示 GOT 的运行和停止状态，以及工作是否正常。

（2）背面图。GT11 系列触摸屏的背面图如图 8-7 所示。



①—安装孔；②—挂板；③—CF 卡读写指示灯；④—CF 卡写保护开关；
⑤—CF 卡插槽保护盖；⑥—复位按钮；⑦—电池舱；⑧—接线端子

图 8-7　GT11 系列触摸屏的背面图

（3）侧面图。GT11 系列触摸屏的侧面图如图 8-8 所示。

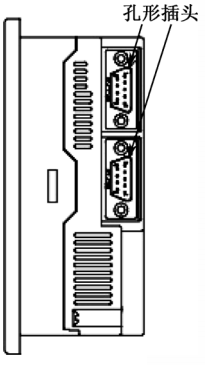


图 8-8　GT11 系列触摸屏的侧面图

① 9 针“D”形针形插头（RS—232 端口）：用于传送软件创建的画面数据或安装操作系统时与计算机连接，也可用于控制器（PLC、微型计算机板、条形码阅读器等）的连接。

② 9 针“D”形孔形插头（RS—422 端口）：用于与 PLC、微型计算机板等的连接。

3．触摸屏功能

触摸屏和 PLC 连接后，通过触摸屏的画面可以访问和改变 PLC 中的数据，监视现场的各种设备。GOT 内置了画面，另外还可以创建用户定义画面。用户定义画面和系统画面分别有如下功能。

（1）用户定义画面的功能。

① 画面显示功能：每个画面可以指定显示功能、监视功能和数据改变等多种功能。用户定义画面还可以使用安全功能进行访问限制。

② 监视功能：监视功能可以显示 PLC 中的字元件设定值和当前值，数值能够以数字或棒图的形式显示以供监视使用。图形组件的指定区域可根据 PLC 位元件的通断状态翻转显示。

③ 数据改变功能：可以监视并改变软元件的数值数据。

④ 开关功能：通过操作 GOT 内的操作键，PLC 内的位元件可以被设置为 ON 或 OFF。显示面板可以指定为触摸键，以提供开关功能。

（2）系统画面的功能。

① 监视功能：利用监视功能可以以指令清单的形式读出、写入和监视程序，还可以读出、写入和监视特殊功能模块的缓冲存储器（BFM）中的内容。

② 软元件监视：可以监视和改变每个软元件的通断状态和 PLC 中每个定时器、计数器的设定值、当前值及数据寄存器的值。

③ 数据采样功能：数据采样功能以恒定的周期或在满足触发条件时获取指定数据寄存器的当前值。采样数据可以以列表形式进行显示，并以清单的形式输出到打印机。

④ 报警功能：报警功能可将报警信息指定到 PLC 多达 256 个连续位元件中。如果指定元件的状态变为 ON，就在用户画面上覆盖显示指定的报警信息。此外，还可将相应的位元件的状态设置为 ON 来显示指定的用户画面。

⑤ 其他功能：系统画面还内置有许多其他功能。内置的实时时钟可以设定和显示当前时间和日期。GOT 作为接口在 PLC 和运行编程软件的计算机之间进行通信，此时也可以显示 GOT 画面，调节画面的对比度和蜂鸣器的音量。

4．主菜单设置

主菜单的设置只有在 GT Designer2 将基本功能 OS 安装到 GOT 的内置闪存中后才能执行。当未下载工程数据时，GOT 的电源一旦开启，通知工程数据不存在的对话框就会显示。显示后触摸 OK 按钮就会显示主菜单，如图 8-9 所示。

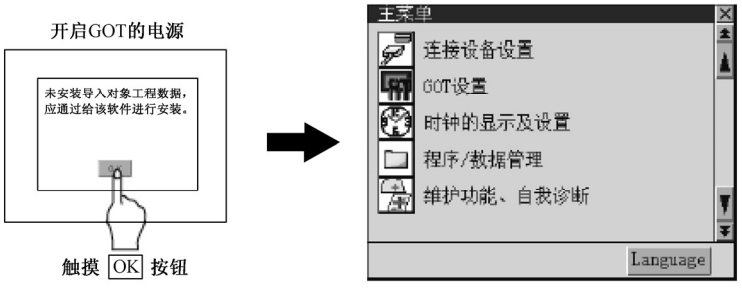


图 8-9　未下载工程数据时显示主菜单

当显示用户创建画面时，可以通过两种方式显示主菜单。一种方式是触摸应用程序调用键，它通过 GOT 应用程序画面或 GT Designer2 设置（出厂时，设置为同时按下 GOT 画面的左右上方两点），如图 8-10 所示。

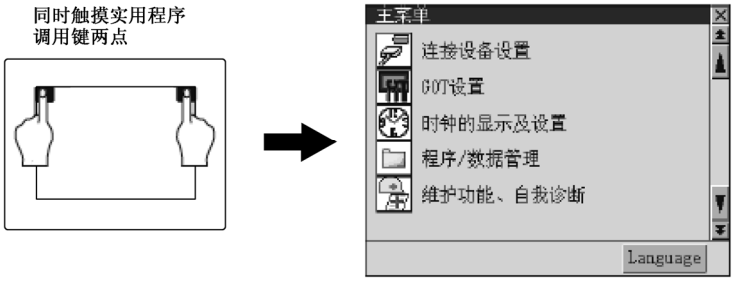


图 8-10　触摸应用程序调用键显示主菜单

另一种方式是触摸扩展功能开关（应用程序）后显示主菜单，可以通过 GT Designer2 将扩展功能开关（应用程序）设置为用户创建画面中显示的触摸开关，如图 8-11 所示。

在主菜单中，可以设置运行的语言、连接 PLC 的类型、串行通信接口、开机画面，设置时钟、背光和蜂鸣器等系统运行所必需的项目。

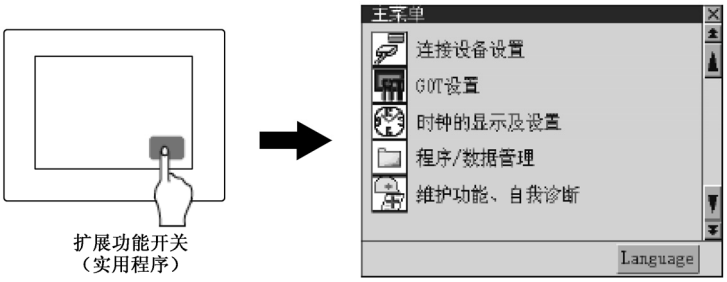


图 8-11　触摸扩展功能开关显示主菜单

8.2　人机界面（HMI）的设计

人机界面设计的根本目的在于使用户能方便、快捷地操作和使用 PLC 控制系统。因此必须充分了解各种设计方式的使用性能、使用范围与优缺点，按照不同的任务类型和控制对象，选择和设计恰当的人机交互方式。

8.2.1　人机界面设计的过程和步骤

人机界面的形式多种多样，但其主要的任务就是快速获取、处理系统运行中的各种数据与命令等，并以恰当的方式显示出来。人机界面的设计方法和思路多种多样，但从总体上看，人机界面的设计可以概括为图 8-12 所示的步骤。

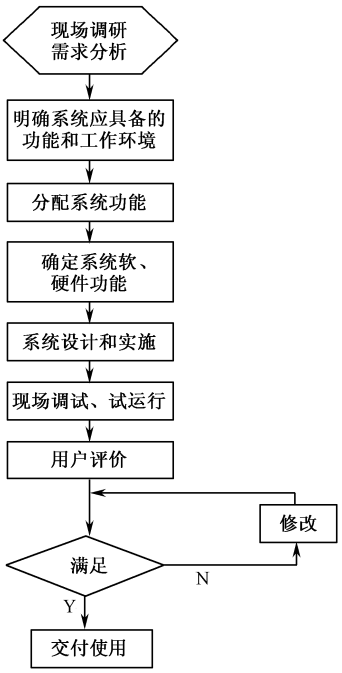


图 8-12　人机界面的设计步骤

从图 8-12 中可以看出，人机界面设计是一个迭代的过程，首先根据用户的需求建立起设计模型，再用原型实现这个设计模型，交由用户使用，并采用非正式地由用户发表一

些反馈意见或正式填写调查表的形式评估该原型，以确定是否满足用户的要求；设计者根据用户意见修改设计并实现下一级原型，再次进行评估，整个过程不断重复，直到用户满意为止。

8.2.2 人机界面的设计技术

人机界面是 PLC 应用系统中重要的组成部分，其设计的良好与否关系到系统实用性能的优劣。目前广泛采用的人机界面设计有菜单界面设计和图形界面设计等方式。

1．菜单界面设计

（1）设计的特点。菜单设计是近年来应用最为广泛的一种人机界面技术，具有以下 3 个特点。

① 菜单驱动。系统全部功能的调用都可以使用菜单完成。

② 适用于结构化的系统。每一个菜单项都可对应某一功能，并且可以根据模块间的逻辑关系形成菜单树。

③ 菜单的转移和返回需要一定的时间。

（2）设计的原则。设计菜单界面时，通常遵循以下 6 个原则。

① 每级菜单应有明确的标题。例如，第一级菜单通常命名为主菜单，主菜单中的下级菜单项反映了 PLC 应用系统的基本功能。

② 菜单界面的层次和结构组织应合理，菜单项的排列可依据使用功能和频率的多少或按字母排列。

③ 应提供多种单击菜单的方法，通常支持鼠标和键盘，或者定义热键和加速键。

④ 对菜单项的点取应设反馈标志。例如，为选中的菜单项前面加“√”。

⑤ 提供默认的菜单选项，用户只需按回车键即可。

⑥ 菜单项可以动态地添加和删减，也可以具有对话框。

2．图形界面设计

除了菜单式界面之外，图形界面也是人们常常采用的人机交互界面。从基本原理上讲，图形界面与菜单界面的设计是大同小异的，所不同的是表现形式。

考虑到工程人员的习惯用法，在屏幕上形象地设计一些图形、按钮等，控制人员可在计算机或可编程终端上操作，如同在控制台上操作一样，十分形象直观。

8.2.3 人机界面设计的原则

人机界面的设计很大一部分依靠设计者的经验，参考以下原则有利于设计者设计出友好、高效的人机界面。

1．一般交互原则

（1）保持设计风格的一致及布局的合理性。人机界面的菜单选择、命令输入、数据显示及众多其他的功能所采用的格式或设计风格应保持一致，尽量按照功能对动作分类并据此设计屏幕布局。

（2）提供有意义的反馈信息。在使用过程中，向使用者提供听觉和视觉上的反馈，以

保证在人机之间建立良好的双向通信。

（3）允许取消绝大多数操作。UNDO 或 REVERSE 功能使众多终端使用者避免浪费大量的时间。每个良好的交互应用系统都应能方便地取消已完成的操作。

（4）在执行较大破坏性动作之前应要求使用者确认。如果使用者要删除或覆盖一些重要信息和文件，或者请求终止一个程序的运行，系统应该给出“您是否确实要……”的信息，提醒使用者进行确认。

（5）尽量减少两次操作间必须记忆的信息。尽量避免使用者在下一步操作时要记住一大串数字或名字，减少操作的难度和记忆量。

（6）提高移动、对话和思考的效率。在设计屏幕布局时应考虑尽量减少鼠标移动的距离，尽量减少单击的次数，同时应尽量避免出现让使用者感到困惑的情况。

（7）提高系统的鲁棒性。系统应该有一定的容错能力，保护自己不受致命错误的破坏。

2．数据输入原则

使用者的大部分时间花在选择命令、输入数据和向系统提供输入上。在许多应用系统中，键盘仍然是主要的输入工具，在数据输入时一般遵循下面 6 个原则。

（1）尽量减少用户的输入动作。

（2）保持信息显示和数据输入之间的一致性。

（3）允许用户自定义输入。

（4）让用户控制交互过程。

（5）交互应该是灵活的，并且可调整成用户最喜欢的输入方式。

（6）消除冗余的输入。

3．信息显示原则

（1）信息显示应只显示与当前工作内容有关的信息。用户在获得有关系统的特定功能信息时，不必看到与之无关的数据、菜单和图形。如果人机界面显示的信息是不完整、含糊或难于理解的，则应用软件显然不能满足使用者的需求。这时可以用多种不同方式“显示”信息，如文字、图片和声音等。

（2）使用一致的标记和标准的缩写、可预知的颜色及大小写缩进和文本分组，使显示的含义非常明确，使用者不必参照其他信息源就能理解。

（3）可以产生明确的出错信息，并能提供有意义的帮助。

8.3 组态软件使用



在工控软件使用中，常常会用到“组态”的概念，组态的英文单词是“Configuration”。简单地说，组态就是用应用软件中提供的工具、方法，完成工程中某一具体任务的过程。组态软件的出现，解决了长期困扰工控领域监控系统开发时间长、效率低、可靠性差、交互困难、选择余地不足等问题；与 PLC 相互配合使用，实现了数据通信，可以更有效地发挥各自的优势，互补应用上的不足，扩大 PLC 应用的范围。目前，组态软件和 PLC 构成的监控系统已经成为工业监控系统的主流。

8.3.1 组态软件简介

组态软件是指为适应工业自动化控制需要，针对工业控制过程中的数据采集、数据处理、图像显示、工程控制、程序管理等而开发的多功能系统软件包。组态软件是 SCADA 的软件平台工具，是工业应用软件的一个组成部分，它们是自动控制系统监控层一级的软件平台和开发环境，能以灵活多样的组态方式（不是编程方式）提供良好的用户开发界面和简捷的使用方法。其预设值的各种软件模块可以非常容易地实现和完成监控层的各项功能，并对控制系统中的各种资源（设备、标签量、画面等）进行配置和编辑。组态软件是一种可向控制层和管理层提供软、硬件的全部接口，进行系统集成的通用层次的软件工具。

由于组态软件提供良好的 HMI 设计、报警和报表处理、实施及历史数据处理等功能，因此在冶金、石油、化工、电力、水处理、制冷、机械制造和交通管理等控制领域得到了广泛应用。

1．国外的组态软件

目前国内市场组态软件中有相当一部分份额被国外专业厂家占领，主要有以下 5 种。

（1）InTouch。美国 WonderWare 公司的 InTouch 软件是最早进入我国的组态软件，在 20 世纪 80 年代末、90 年代初，基于 Windows 3.1 的 InTouch 软件曾让工控业耳目一新，并且 InTouch 也提供了丰富的图库。但是，早期的 InTouch 软件采用 DDE 方式与驱动程序通信，性能较差，最新的 InTouch10.1 已经完全基于 64 位的 Windows 平台，并提供了 OPC 技术支持。

（2）iFix。iFix 是 HMI/SCADA 自动化监控组态软件。Intellution 公司以 Fix 组态软件起家，Fix 6. x 软件提供工控人员熟悉的概念和操作界面，并提供完备的驱动程序（需单独购买）。Intellution 将自己最新的产品系列命名为 iFix。在 iFix 中，Intellution 提供了强大的组态功能，使其与微软的操作系统、网络进行了紧密的集成。但新版本与以往的 6.x 版本并不完全兼容。原有的 Script 语言改为 VBA（Visual Basic for Application），并且在内部集成了微软的 VBA 开发环境。

（3）Citech。澳大利亚 Cit 公司的 Citech 也是较早进入中国市场的产品。Citech 具有简捷的操作方式，但其操作方式更多的是面向程序员，而不是工控用户。Citech 提供了类似 C 语言的脚本语言进行二次开发。但与 iFix 不同的是，Citech 的脚本语言并非面向对象，而是类似于 C 语言，这无疑为用户进行二次开发增加了难度。

（4）Wincc。德国 Simens 公司的 Wincc 也是一套完备的组态开发环境，Simens 提供类 C 语言的脚本，包括一个调试环境。Wincc 内嵌 OPC 支持，并可对分布式系统进行组态。但 Wincc 的结构较复杂。

（5）RSView 32。RSView 32 是美国 AB 公司开发的基于组件的应用于监视与控制自动化设备和过程的人机界面软件，它以 MFC（微软基础类）、COM（元件对象）技术为基础。RSView 32 通过开放的技术达到与 RockWell 公司的软件产品、微软产品和其他应用软件空前的兼容。

其他常见的组态软件还有 GE 的 Cimplicity、NI 的 Lookout、Pcsoft 的 Wizcon 等，也都各有特色。

2．国产组态软件

近年来，国产组态软件有了蓬勃的发展，在市场上应用比较成功的国产组态软件有组态王（KingView）、开物、力控、MCGS 等。

（1）组态王。北京亚控公司是国内较有影响的组态软件开发公司（更早的品牌多数已经消失）。它开发的组态王软件是运行于微软 Windows 98/2000/XP 平台的中文界面 HMI 软件，采用了多线程、COM 组件等新技术，提供了资源管理器式的操作主界面，并且提供了以汉字作为关键字的脚本语言支持，实现了实时多任务和软件的运行可靠。TouchView 是组态王的实时运行环境，它从设备中采集数据，并存于实时数据库中，还负责把数据的变化以动画的形式形象地表现出来，同时可以完成变量报警、操作记录、趋势曲线等监视功能，并按实际需求记录在历史数据库中。趋势曲线、工程记录、安全防范等重要功能都有简捷的操作方法。组态王以其可靠性高、通信速度快、功能强大、界面友好和开发简单方便等优点而得到了广泛的应用。它提供脚本语言支持、COM 技术支持和 OPC 技术支持，另外组态王也提供多种硬件驱动程序供用户使用。

（2）Controx（开物）。哈尔滨华富计算机公司的 Controx 2000 是全 32 位的组态开发平台，为工控用户提供了强大的实时曲线、历史曲线、报警、数据报表及报告功能。作为国内最早加入 OPC 组织的软件开发商，Controx 内建 OPC 支持，并提供数十种高性能驱动程序，提供面向对象的脚本语言编译器，支持 Activex 组件和插件的即插即用，并支持通过 ODBC 连接外部数据库。Controx 同时提供网络支持和 WebServer 功能。

（3）Forcecontrol（力控）。从时间概念上来说，大庆三维公司的 Forcecontrol（力控）也是国内较早就已经出现的组态软件之一。只是因为早期力控一直没有作为正式商品广泛推广，所以并不为大多数人所知。大约在 1993 年左右，力控就已形成了第一个版本，只是那时还是一个基于 DOS 和 VMS 的版本。后来随着 Windows 3.1 的流行，又开发出了 16 位 Windows 版的力控。直至 Windows 95 版本的力控诞生之前，力控主要用于公司内部的一些项目。32 位 1.0 版的力控，在体系结构上就已经具备了较为明显的先进性，其最大的特征之一就是其基于真正意义的分布式实时数据库的三层结构，而且其实时数据库结构为可组态的活结构。在 1999—2000 年期间，力控得到了长足的发展，2.0 版本在功能的丰富、易用性、开放性和 I/O 驱动数量上，都得到了很大的提高。在很多环节的设计上，力控都能从国内用户的角度出发，即注重实用性，又不失大软件的规范。另外，公司在产品的培训、用户技术支持等方面投入了较大人力，在较短时间内，力控软件产品在工控软件界形成巨大的冲击。

（4）MCGS。北京昆仑通态公司成功推出了 MCGS 组态软件的三大系列产品，分别是 MCGS 通用版组态软件、MCGS 网络版组态软件和 MCGS 嵌入版组态软件。MCGS 工控组态软件功能全面，应用灵活，提供从设备驱动、流程控制到数据处理、动画及报表显示、报警输出等一套完整的系统软件，并具有开放性结构，用户可以挂接自己的应用程序模块，具有良好的通用性和可维护性。系统是真正的 32 位、多任务应用系统，支持 Windows 的多任务技术，有效地优化了计算机资源，打印任务作为一个独立工作运行于后台，实现多任务的并行处理。

国产组态软件具有较强的价格竞争优势，但在软件的可靠性、商品化程度上还有待提高。

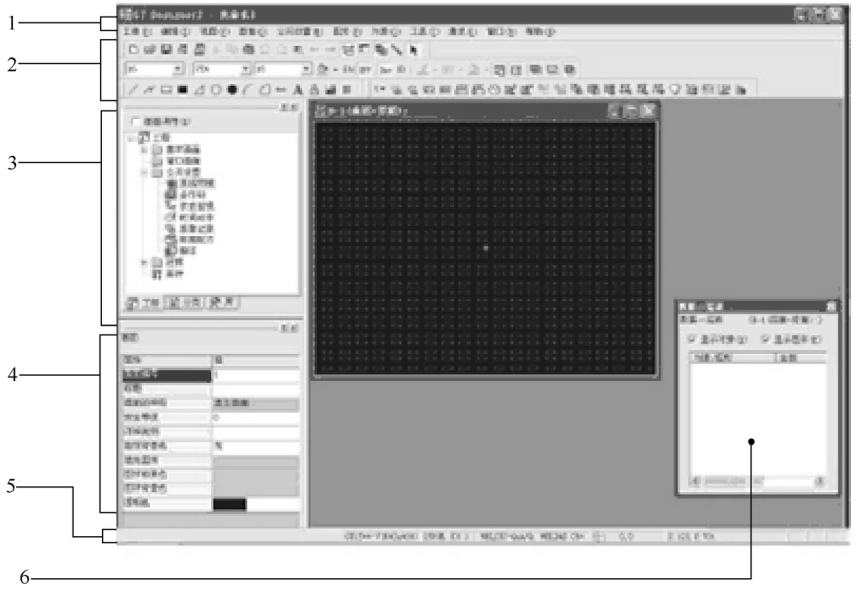
下面分别以三菱公司的组态软件 GT—Designer2 Version2 和组态王软件为例，介绍通过组态软件设计一个 HMI 的方法和步骤。

8.3.2 GT—Designer2 Version2 组态软件的使用

三菱人机界面制作专用软件有 FX—PCS—DU/WIN、SWSD5—GOTR—PACK、SW2D5C—GTD2—C 等系列。其中，GT—Designer2 Version2（SW2D5C—GTD2—C）是用于 GOT1000 和 GOT900 系列显示画面制作的 Windows 系统可视化编辑软件。

1．软件的开发界面

选择菜单命令“开始”→“所有程序”→“MELSOFT 应用程序”，选择 GT—Designer2，软件启动后，主界面如图 8-13 所示。



1—菜单栏；2—工具栏；3—工作区；4—属性表；5—状态栏；6—数据一览表

图 8-13　GT—Designer2 主界面

（1）菜单栏。菜单栏上半部分又称为标题栏，是显示画面标题的地方。将光标移到标题栏再拖动，可以任意移动画面的位置。

菜单栏的下半部分显示 GT—Designer2 可使用的菜单名称，单击某个菜单，就会出现一个下拉菜单，然后可以从下拉菜单中选择各种功能。

（2）工具栏。将菜单栏上分配的项目以按钮的形式直观表示出来，就构成了工具栏。

① 标准工具栏，如图 8-14 所示。



1　2　3　4　5　6　7　8　9　10　11　12　13　14　15　16　17　18

1—新建工程；2—打开工程；3—保存工程；4—新建基本画面；5—打开画面；6—剪切；
7—复制；8—粘贴；9—撤销；10—恢复；11—画面预览；12—上一个画面；13—下一个画面；
14—再打开关闭的画面；15—画面软元件使用一览表；16—数据一览表；17—注释；18—图形·对象的选择

图 8-14　标准工具栏

② 显示工具栏，如图 8-15 所示。



1—移动量；2—显示比例；3—栅格间距；4—栅格色；5—软元件 ON 显示；6—软元件 OFF 显示；7—软元件；8—对象 ID；9—画面背景图样前景色；10—画面背景图样；11—画面背景图样背景色；12—工作区；13—属性表；14—图层：前面；15—图层：背面；16—图层：前面+背面

图 8-15　显示工具栏

③ 绘图工具栏，如图 8-16 所示。



1—绘制直线；2—绘制折线；3—绘制长方形；4—绘制带填充的长方形；5—绘制多边形；6—绘制圆形；7—绘制带填充的圆形；8—绘制圆弧；9—绘制扇形；10—绘制刻度；11—输入文本；12—涂刷；13—写入图形数据；14—写入 DXF 数据

图 8-16　绘图工具栏

④ 对象工具栏，如图 8-17 所示。



1—设置触摸开关功能；2—设置指示灯显示（位）功能；3—设置指示灯显示（字）功能；4—设置数值显示功能；5—设置 ASCII 显示功能；6—设置数值输入功能；7—设置 ASCII 输入功能；8—设置时刻显示功能；9—设置注释显示（位）功能；10—设置注释显示（字）功能；11—显示扩展用户报警监视；12—显示扩展系统报警监视；13—设置报警记录显示功能；14—设置报警列表显示功能（用户）；15—设置报警列表显示功能（系统）；16—设置部件显示（位）功能；17—设置部件显示（字）功能；18—设置部件显示（固定）功能；19—设置面板仪表显示功能；20—设置液位显示功能；21—设置趋势图表显示功能；22—设置折线图表显示功能；23—设置条形图表显示功能

图 8-17　对象工具栏

⑤ 编辑工具栏，如图 8-18 所示。



1—置于顶层；2—置于底层；3—组合；4—取消组合；5—水平翻转；6—垂直翻转；7—左 90° 旋转；8—右 90° 旋转；9—编辑顶点；10—排列设置；11—选择：图形；12—选择：对象；13—选择：图形+对象

图 8-18　编辑工具栏

⑥ 排列工具栏，如图 8-19 所示。



1—排列：左；2—排列：中央（水平）；3—排列：右；4—排列：上；5—排列：中央（垂直）；6—排列：下；7—排列：均等排列（水平）；8—排列：均等排列（垂直）

图 8-19　排列工具栏

⑦ 图形绘图工具栏，如图 8-20 所示。



1—变更线的线型；2—变更线的线宽；3—变更线的线条颜色；4—变更填充图样；5—变更填充色；6—变更填充图样背景色；7—变更文本；8—变更文本类型；9—变更文本阴影色

图 8-20　图形绘图工具栏

⑧ 通信工具栏，如图 8-21 所示。



1—跟 GOT 的通信；2—传送到存储卡；3—通信设置

图 8-21　通信工具栏

⑨ 注释工具栏，如图 8-22 所示。



1—新建注释；2—新建注释组；3—注释组属性；4—行插入；5—列插入；6—注释导入；7—注释导出；8—注释属性；9—搜索；10—定位；11—属性的显示/不显示

图 8-22　注释工具栏

（3）工作区。在工作区内，创建的画面、公共设置等整体工程的设置将以树状的形式显示。此外，还可以通过双击及单击鼠标右键进行设置、复位等。

（4）属性表。显示所选择的画面/对象/图形的属性，也可以对它们进行设置。

（5）状态栏。显示当前操作状态和光标坐标。

（6）数据一览表。以一览表的形式显示图面上所设置的所有对象及图形。

2．软件具有的功能

（1）数据显示功能。数据显示功能可以实时显示 PLC 的数据寄存器的数据。数据可以以数字、ASCII 字符及时钟等形式显示，对应的图标为 123、ASC、，分别单击这些按钮，然后将光标指向编辑区，单击鼠标即生成该对象，可以随意拖动对象到任何位置；选中该对象，单击鼠标右键，便会出现该功能的属性设置对话框，设置完毕单击“确定”按钮即可。

（2）信息显示功能。信息显示功能可以显示 PLC 相对应的注释和出错信息，包括注释、报警记录和报警列表。

（3）动画显示功能。显示与软元件相对应的零件/屏幕，显示的颜色可以通过其属性来设置。同时，可以根据软元件的 ON/OFF 状态来显示不同的颜色，以示区别。

（4）图表显示功能。可以显示采集到的 PLC 软元件值，并将其以图表的形式显示。

（5）触摸键功能。触摸键在被触摸时，能够改变位元件的开关状态、字元件的值，也可以实现画面的跳转。

（6）数据输入功能。数据输入功能可将任意数字和 ASCII 码输入到软元件中。

实例 87：GT Designer2 组态项目的创建

实例说明

利用 GT Designer2 创建一个新的组态项目。

实例实现

1）使用项目向导创建新项目

启动软件，打开如图 8-23 的对话框，有“新建”、“打开”两个按钮，单击“新建”按钮，则出现图 8-24 所示的对话框。

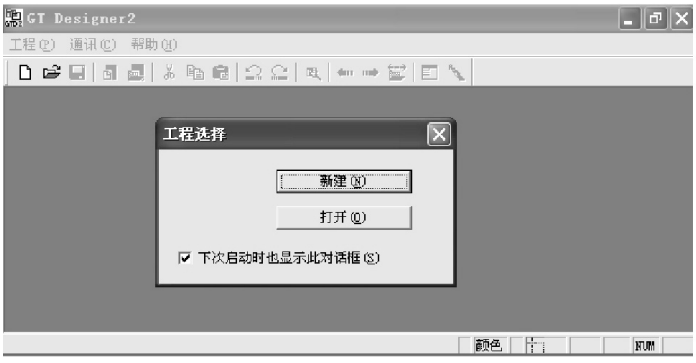


图 8-23　工程选择窗口



图 8-24　新建工程信息显示

单击“下一步”按钮，在从下拉列表中选择 GOT 的类型，如图 8-25 所示，根据连接的 GOT 型号不同，其颜色设置会自动给出相应的选项，而显示方式也有所区别。本例选择的是 GT11**—Q（320×480），对应的颜色设置有两种，一种是 256 色，另一种是单色 16 级灰度。本例选择的是 256 色，显示方式选择为“横向”，选择完成后，单击“下一步”按钮，出现如图 8-26 所示的对话框，即完成了系统的设置。



图 8-25　GOT 类型对话框

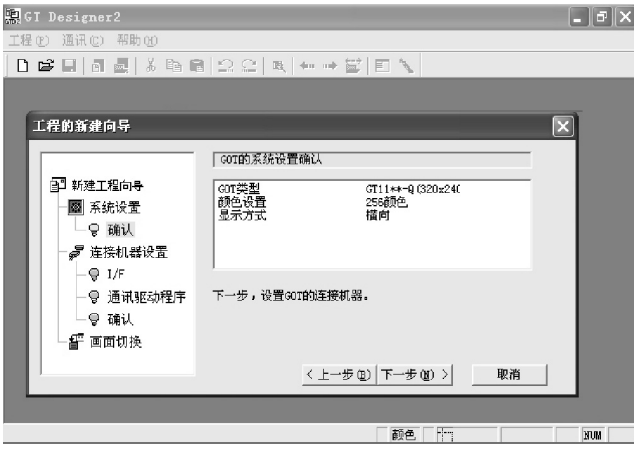


图 8-26　GOT 类型设置信息

2）PLC 型号的选择与设置

要设置连接到的 PLC，如图 8-27 所示。在此步骤中，有一个提示是第一台，如果有多台的话，可以分别进行设置。GT—Designer 2 支持的 PLC 类型很多，可以从下拉菜单中选择。选择好机器型号后，单击“下一步”按钮，进行 I/F 设置，即通信协议的设置。通信协议可根据连接机器的不同选择相应的协议。

3）驱动程序的确定与协议的选择

协议选择完后，需要确定其驱动程序，在图 8-28 中，单击右边“详细设置”按钮，会出现通信设置的详细配置选择，设置好后，单击“下一步”按钮，就完成了连接机器设置的步骤，如图 8-29 所示。如果还想要设置另外的机器，可单击“追加”按钮并进行设置。

4）画面的设置

接下来要设置的是画面切换软元件，如图 8-30 所示。要设置的有“基本画面”、“重叠窗口 1”、“重叠窗口 2”、“叠加窗口 1”、“叠加窗口 2”、“对话框窗口”等内容，至少要设置“基本画面”所对应的软元件。



图 8-27　PLC 型号选择

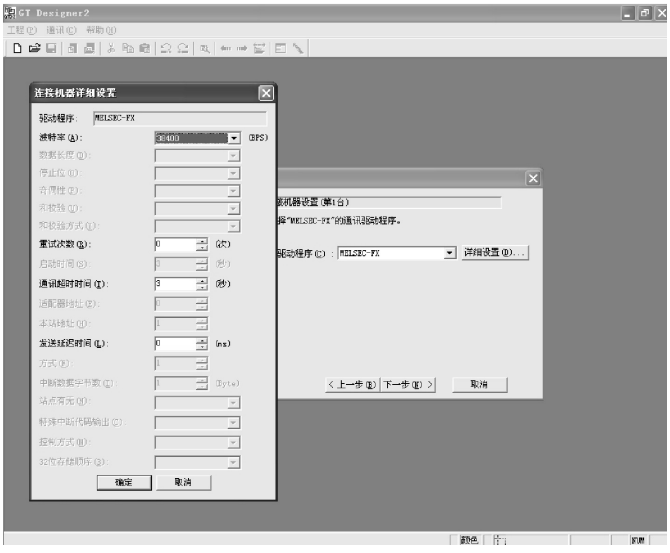


图 8-28　驱动程序的确定与协议的选择

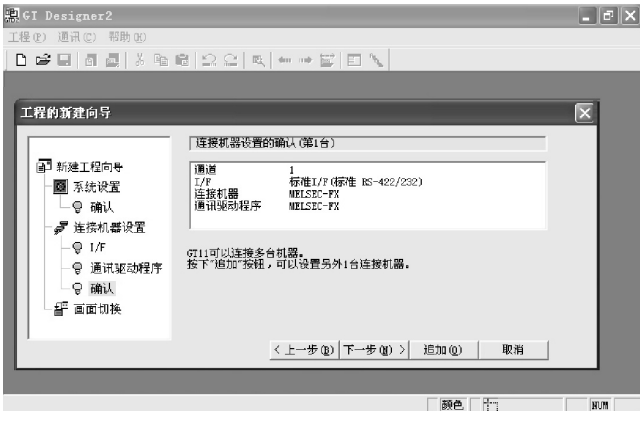


图 8-29　通信设置配置信息



图 8-30　软元件设置对话框

上述步骤完成后，单击“下一步”按钮，就会出现图 8-31 所示的对话框，也就完成了系统环境的设置，单击“结束”按钮，就会出现系统完整的开发界面，在开始设计前，还要进行一些必要的画面属性设置，如图 8-32 所示。



图 8-31　软元件设置信息

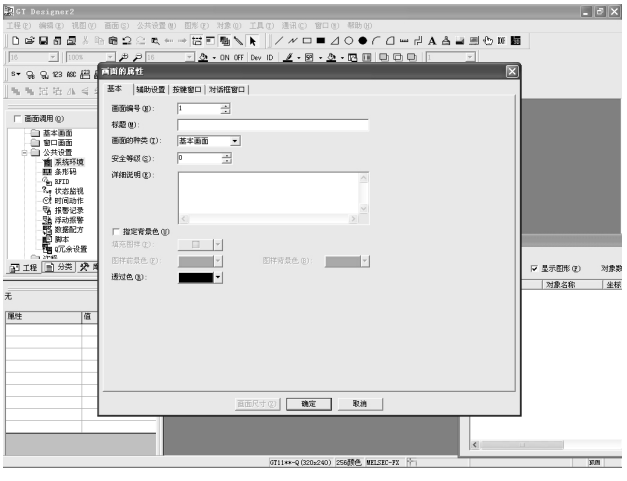


图 8-32　画面属性设置

至此，一个新的组态项目就创建完成了。

实例分析

本例详细介绍了 GT—Designer 2 组态项目的创建过程与方法步骤，在组态项目的创建过程中，对 PLC 型号与对应通信协议设置、驱动程序的选择确定等是关键步骤，只有正确地选择设置才能通信，为画面中软元件的选择与设置奠定基础。

实例 88：电动机交替控制组态

实例说明

有 M1 和 M2 两台电动机，按下启动按钮后，M1 运转 3min，停止 1min，M2 与 M1 相反，即 M1 停止时 M2 运行，M1 运行时 M2 停止，如此循环往复，直至按下停止按钮。

实例实现

1）分配 PLC 的 I/O 端口

I/O 分配表如表 8-1 所示。

表 8-1　PLC 的 I/O 分配表

按　钮	I/O 值	功　能
SB1	X000	启动
SB2	X001	停止
KM1	Y000	电动机 1 输出
KM2	Y001	电动机 2 输出

2）触摸屏软元件分配

M1：启动按钮；M2：停止按钮。

3）PLC 程序

为实现通过触摸屏来监控电动机的交替运行，需要增加 M1、M2 分别对应触摸屏上的启动和停止触摸控制按钮，梯形图如图 8-33 所示。

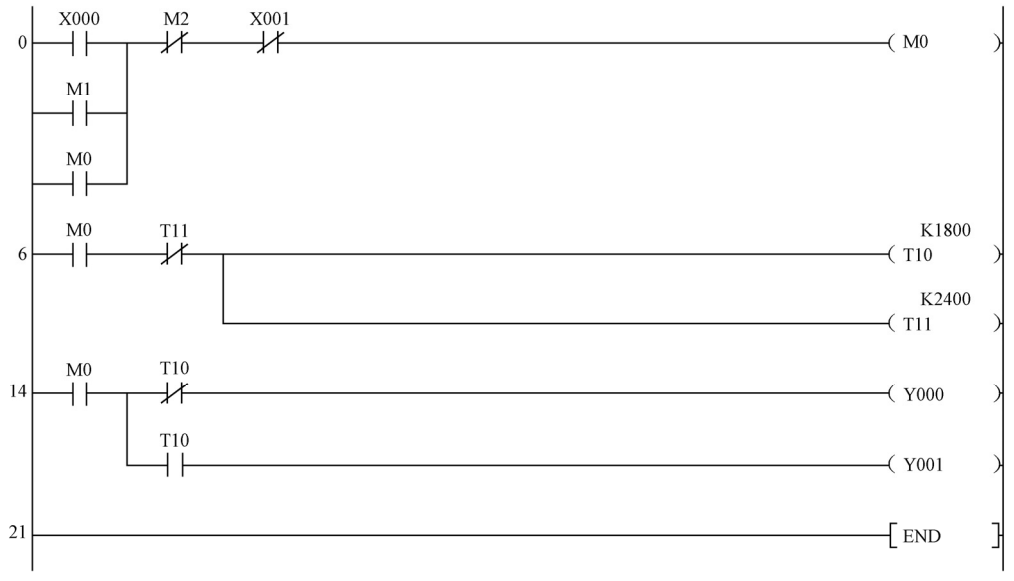


图 8-33　电动机交替控制梯形图

4）系统接线图

计算机、触摸屏、PLC 及输入按钮、输出接触器的接线如图 8-34 所示。

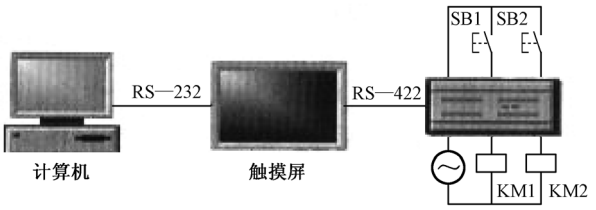


图 8-34　系统接线图

5）创建新工程

按照实例 89 的步骤，新建一个组态工程。



图 8-35　系统组态画面

6）监控界面设计

在触摸屏上根据控制要求和 PLC 各元件的端口分配进行设置，触摸屏最后的画面如图 8-35 所示。

（1）设置文本对象。单击绘图工具栏中的 A 按钮，弹出图 8-36 所示的文本属性设置对话框，在“文本”框中输入“电机交替控制监控系统”，然后在下面文字属性中选择颜色和尺寸，设置完毕，单击“确定”按钮。再将文本拖到编辑区合适的位置即可。文本“电机运行状态”和“电机运行控制”设置与此相同。

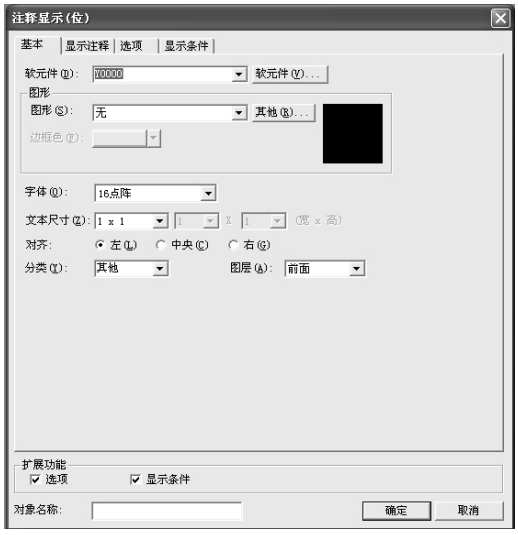


图 8-36　文本编辑对话框

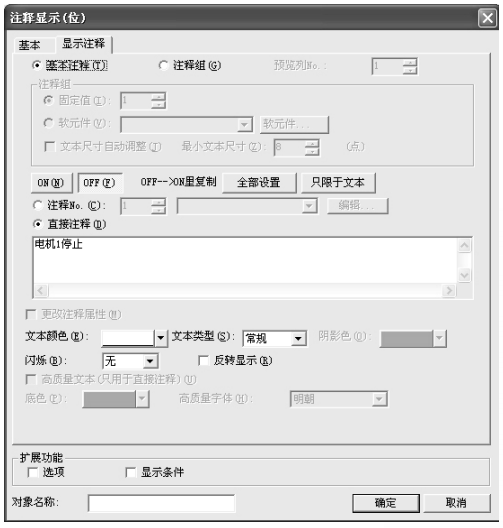
（2）注释文本。在组态画面中显示的“电机 1 停止”、“电机 2 停止”、“停止中”是注释文本对象，用来显示现场电动机的运行状态。编辑注释文本对象时，首先单击对象工具栏中的 按钮，弹出图 8-37（a）所示的对话框。

此对话框中共有“基本”、“显示注释”、“选项”、“显示条件”4 个标签页。其中“选项”和“显示条件”在不勾选时并不显示。在“基本”标签页下的“软元件”选项中输入“Y000”，也可单击右侧“软元件”按钮进行选择。其他设置保持默认值。

单击“显示注释”标签，弹出的对话框如图 8-37（b）所示，单击“ON”按钮，在“直接注释”下的文本框中输入“电机 1 停止”，设置文本颜色为红色。设置完毕，单击“确定”按钮，然后将文本拖到编辑区合适位置即可。其余的设置与此类似。



（a）对话框 1



（b）对话框 2

图 8-37　注释文本编辑

（3）触摸键。以“启动”按钮为例，单击菜单栏中的“视图”按钮，从下拉列表中选择“库”→“库图像”一览表，从弹出的对话框中选择适当的库对象，拖放到编辑区的合适位置。用鼠标右键单击此对象，会弹出图 8-38 所示的多用动作开关对话框。在此对话框内，有“基本”、“指示灯”和“文本”3 个标签页，还有“选项”和“动作条件”两个可选标签页。在“基本”设置标签页中，可以设置“位”、“键输入对象用户 ID”等内容；在“指示灯”设置标签页中，可以设置指示灯功能，“ON”、“OFF”状态下的显示方式等；在“文本”设置标签页中，可以设置在“ON”、“OFF”状态下文本的字体大小，字体属性，颜色等内容。设置好后，单击“确定”按钮即可。

按照同样的方法，设置其余的按键。

7）联机调试

连接好硬件并设置完成 GOT 和 PLC 的通信设置项，然后写入触摸屏画面和 PLC 程序。在程序和画面写入后，观察触摸屏显示是否与计算机画面一致。例如，显示“画面显示无效”，则可能是触摸屏中“PLC 类型”设置项不正确，设置正确的 PLC 类型，再进入“HPP 状态”，此时应能读出 PLC 程序，说明 PLC 与触摸屏通信正常。

返回“画面状态”，将 PLC 运行开关打开，按启动键应立即变为设定的颜色，注释文本应显示“电机 1 运行”、“电机 2 停止”，PLC 的 Y0 指示灯亮，如图 8-39 所示；反之亦然。单击“停止”按钮，即可回到初始的画面。如果输出不正确，就要检查触摸屏对象属性和

PLC 程序，并检查软元件是否对应。



图 8-38　多用动作开关对话框



图 8-39　电动机运行状态示意图

此外，还可以单击按钮控制运行，观察 GOT 中的注释文本显示是否符合。如果输出不符，则要检查 PLC 程序及输入元件是否对应。

实例分析

以电动机交替控制组态为例，从工程应用角度介绍了组态过程。首先在分析控制系统基础上编写出 PLC 梯形图程序，然后根据系统要求画出系统接线图，其次分配触摸屏软元件并创建组态工程，最后联机调试。其中控制程序是基础，工程组态是关键。在组态画面设置时，需做好文本对象设置和文本注释，为日后修改、技术交流奠定基础，同时注意监控界面设计要符合人机关系要求，即方便操作、美观得体。

8.3.3　组态王软件的使用

这里使用组态王软件 6.5（KingView 6.55、KingView 6.53）版本。

1．组态王软件的结构

“组态王”软件由工程浏览器（TouchExplorer）、工程管理器（ProjManager）和画面运行系统（TouchView）三部分组成。在工程浏览器中可以查看工程的各个组成部分，也可以完成数据库的构造、定义外围设备等工作；工程管理器内嵌画面管理系统，用于新工程的创建和已有工程的管理。画面的开发和运行由工程浏览器调用画面制作系统 TouchMake 和工程运行系统 TouchView 来完成。

TouchView 是应用工程的开发环境。在这个环境中完成画面设计、动画连接等工作。TouchView 具有先进完善的图形生成功能；数据库提供多种数据类型，能合理地提取控制

对象的特性；对变量报警、趋势曲线、过程记录、安全防范等重要功能都有简捷的操作方法。

ProjManager 是应用程序的管理系统。ProjManager 具有很强的管理功能，可用于新工程的创建及删除，并能对已有工程进行搜索、备份及有效恢复，实现数据词典的导入和导出。

TouchView 是“组态王”软件的实时运行环境，在应用工程的开发环境中建立的图形画面只有在 TouchView 中才能运行。TouchView 从控制设备中采集数据，并存于实时数据库中。它还负责把数据的变化以动画的方式形象地表示出来，同时可以完成变量报警、操作记录、趋势曲线等监视功能，并按实际需求记录在历史数据库中。

2．组态王软件设计的一般过程

（1）创建一个新工程。

（2）设计图形画面（定义画面）。

组态王系统既为用户提供了矩形（圆角矩形）、直线、椭圆（圆）、扇形（圆弧）、点位图、多边形（多边线）、文本等基本的图形对象，以及按钮、趋势曲线窗口、报警窗口、报表等复杂的图形对象，又提供了对图形图像在窗口内任意移动、缩放、改变形状、复制、删除、对齐等编辑操作，其全面支持键盘、鼠标绘图，还提供了对图形图像的颜色、线型、填充属性等进行改变的操作工具。

（3）定义 I/O 设备。

组态王把每一台与其通信的硬件设备或程序都看做外围设备，其支持的硬件设备主要有 PLC、智能模块、板卡、智能仪表、变频器等。对于不同的硬件设施，只需为组态王配置相应的通信驱动即可。组态王支持以下通信方式：串口通信、DDE 通信、OPC（OLE for Process Control）、数据采集板、HMI 卡、网络模块等。硬件设备一般通过串口和上位机交换数据，其他的 Windows 应用程序一般通过 DDE 交换数据，而网络上的硬件设备一般通过网络模块与组态王交换数据。设计人员在开发应用系统时，不必关心具体的协议，只需在组态王的设备库中选择设备的类型，然后按照“设备配置向导”的提示一步步完成安装即可。

外围的实际设备只有在组态王中被定义为一个唯一的逻辑设备后，它们之间才能相互交换数据。此逻辑设备名对应着该外围设备的生产厂商、实际设备名称、通信方式、设备地址与上位机的通信方式等信息。即使是型号完全相同的多台外围设备，也要指定不同的逻辑设备名。组态王中的变量和逻辑设备与实际设备之间的对应关系如图 8-40 所示。逻辑设备名相当于变量与外围实际设备进行数据交换的桥梁。当在组态王中定义了 I/O 变量属性时，就要指定与此相对应的逻辑设备名。一个逻辑设备可以和多个 I/O 变量相对应，它们之间的对应关系如图 8-41 所示。

在组态王中，串口驱动程序的逻辑名称对应的是串口类的逻辑设备，它不是一个独立的 Windows 应用程序，而是内嵌在组态王中，以 DLL 形式供调用；另一方面，逻辑设备与实际设备之间存在着一一对应的关系，因此串口驱动程序与实际外围设备也就对应起来，它们之间的对应关系如图 8-42 所示。

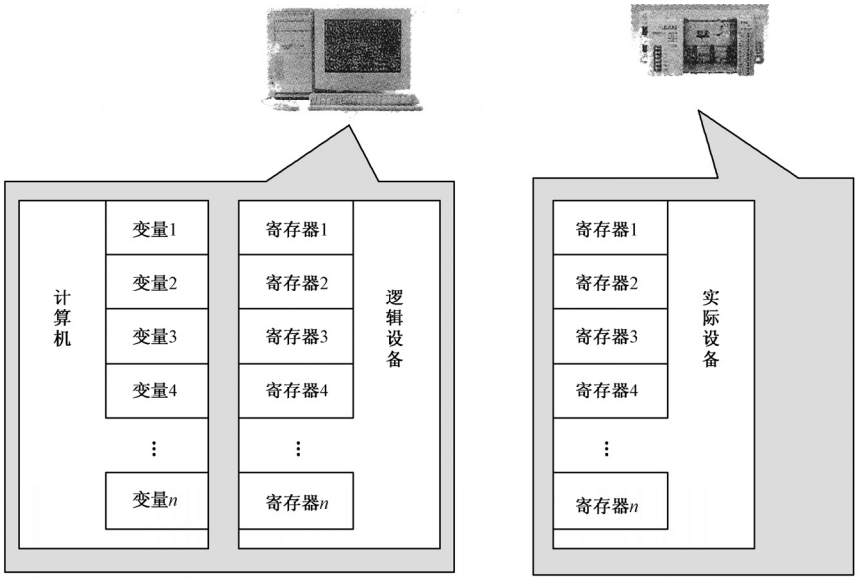


图 8-40　变量和逻辑设备与实际设备之间的对应关系

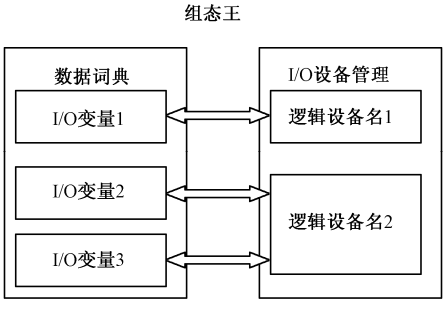


图 8-41　I/O 变量与逻辑设备名之间的对应关系

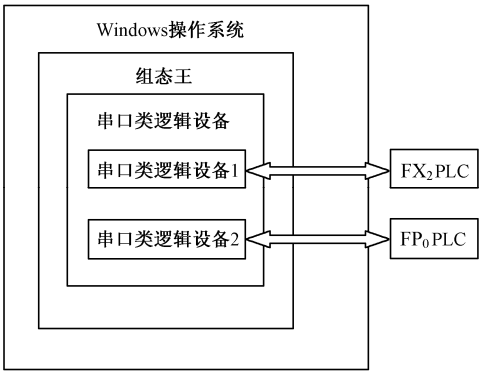


图 8-42　组态王与串口类逻辑设备之间的对应关系

（4）构造数据库（定义变量）。

数据库是联系上位机和下位机的桥梁，是组态王的核心部分。工业现场生产状况在监控系统中的动态显示、操作者指令快速送达生产现场都要以数据库为中介。在系统运行时，它包含了全部数据变量的当前值。变量在制作画面时定义，在定义时要指定变量名和变量类型，某些类型的变量还需要一些附加信息。组态王中的变量分为基本类型和特殊类型两大类，而基本类型的变量又分为“内存变量”和“I/O 变量”两类。

所谓“内存变量”，是指不需要和其他设备进行数据交换，只在组态王内部需要的变量，例如，计算过程中的中间变量就可以设置成“内存变量”。

“I/O 变量”指的是组态王和其他程序或设备交换数据所用到的变量，是一种双向的、动态的过程。

基本类型的变量按照数据类型又可分为离散型、模拟型、长整数型和字符串型等。

特殊类型变量的类型有报警窗口变量、报警组变量、历史趋势曲线变量及时间变量 4

种。特殊类型的变量体现了组态王系统面向工控软件、自动生成人机接口的特色。

变量的集合在组态王中形象地被称为数据词典。数据词典记录了所有可使用的变量的详细信息。

（5）建立动画连接。

所谓“动画连接”，就是建立画面的图素与数据库变量的对应关系。组态王中的图形界面只是一幅静态的画面，通过实时数据库，将图形对象与现场状况同步变化的变量建立某种对应关系，当变量值改变时，在画面上以图形对象的动画效果显示出来。或者由图形对象改变数据变量的值，实现图形界面与对象间的双向控制。

图形对象可以按动画连接的要求改变颜色、尺寸、位置、填充百分数等，一个图形对象可以同时定义多个连接，以满足实际运行中任意动画显示的需要。组态王提供的常用动画连接方式如表 8-2 所示。

表 8-2　组态王中常用的动画连接方式

命 令 语 言	按下时、弹起时、按住时
位置与大小变化	填充、缩放、旋转、水平移动、垂直移动
值输出	模拟值输出、离散值输出、字符串输出
值输入	模拟值输入、离散值输入、字符串输入
滑动杆输入	水平、垂直
属性变化	线属性变化、填充属性变化、文本色变化
特殊	闪烁、隐含

在动画连接中，还有一种命令语言的方式，它类似于 C 语言的程序。工程人员可以利用这些程序来增强应用程序的灵活性，处理一些算法和操作等。命令语言都是靠事件触发执行的，如定时、数据的变化、鼠标的单击、键盘按键的按下等。除了动画连接命令语言外，还有应用程序命令语言、热键命令语言、事件命令语言、数据改变命令语言、自定义函数命令语言和画面命令语言等。

（6）运行和调试。

运行和调试的目的主要是检查组态软件与实际的 PLC 控制系统间能否实现双向通信。

上述过程的几部分并不是完全独立的，后面 4 个部分在设计时往往交替进行。此外，要想达到良好的设计效果，还需从以下几个方面考虑：首先，一个好的监控系统要有一个交互性强、图形逼真的画面，这就要求设计者考虑怎样用抽象的图形画面来模拟实际的工业现场和相应的工控设备；其次是如何将系统中各对象的属性以数据的形式描述出来，并在系统运行时能正确保存，具体地说就是创建一个数据库，此数据库中的变量反映了各种对象的属性；最后是如何将画面与数据正确连接的问题，也就是画面上的图像以怎样的动画效果来模拟现场设备的运行，以及怎样让操作者输入控制设备的指令等。

下面结合通风系统运行状态监控的组态来介绍组态王的使用方法及简要的设计过程。

实例 89：利用组态王进行通风系统运行状态监控的组态

实例说明

在一个通风系统中，有 4 台电动机驱动 4 台风机运转。为了保证工作人员的安全，一般要求至少 3 台电动机同时运行。因此用绿、黄、红三色柱状指标灯来对电动机的运动状态进行指示。当 3 台以上电动机同时运行时，绿灯亮，表示系统通风良好；当两台电动机同时运行时黄灯亮，表示通风状况不佳，需要改善；少于两台电动机运行时红灯亮起并闪烁，发出警告表示通风太差，需马上排除故障或进行人员疏散。

实例实现

1）新建工程

要建立新的组态王工程，应首先指定其保存的路径（工作目录）。不同的工程应保存在不同的路径下；否则，容易引起混淆。工程文件一般以文件夹的形式保存，文件夹中的文件由组态王自动管理。双击桌面上组态王图标，就会弹出组态王工程管理器的界面，如图 8-43 所示。



图 8-43　组态王工程管理器

在工程管理器中执行菜单命令“文件”→“新建工程”或单击“新建”按钮，就会弹出“新建工程向导之一”对话框，如图 8-44 所示。单击“下一步”按钮，弹出“新建工程向导之二”对话框，如图 8-45 所示。

在文本框中输入一个有效的工程保存路径，或者单击“浏览”按钮，在弹出的路径选择对话框中选择一个有效路径。单击“下一步”按钮，弹出“新建工程向导之三”对话框，如图 8-46 所示。在工程名称文本框中输入工程的名称“通风系统状态监控”，单击“完成”按钮，并把新建的工程设置为组态王的当前工程。组态王将在工程路径下生成初始数据文件。至此新的工程已经建立了。

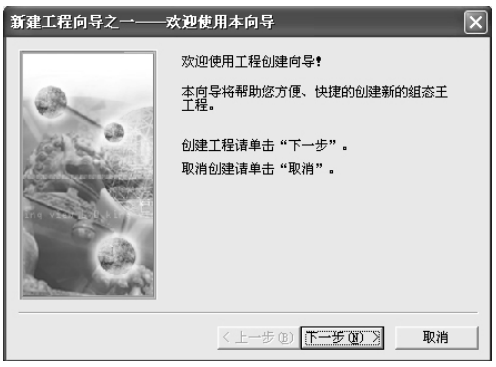


图 8-44　新建工程向导之一



图 8-45　新建工程向导之二

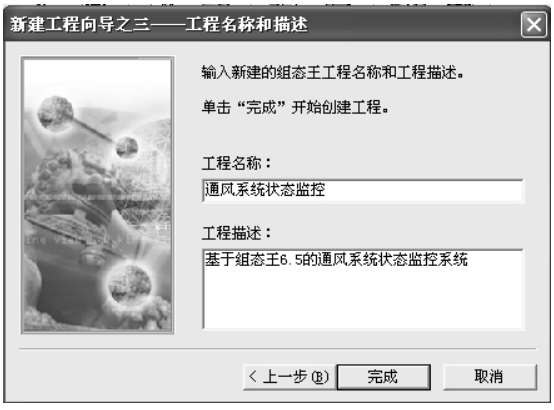


图 8-46　新建工程向导之三

2）创建画面

新建工程后，就可以在工程浏览器中创建组态画面，每个工程建立的画面没有个数的限制，在每个画面上生成相互关联的静态或动态图形对象。组态王采用面向对象的编程技术，不仅提供了丰富的图形制作工具，系统本身还有丰富的图库供用户选择。因此，创建图形时可以像搭积木一样利用系统提供的图形对象生成画面，同时系统还支持画面之间的复制。

在图 8-47 所示的工程浏览器中，选择左侧树形视图中的“文件”→“画面”命令，在右侧视图中双击“新建”图标。工程浏览器将运行组态王开发环境，在弹出的对话框中设置画面名称为“通风系统状态监控”，其他选项取默认值即可，如图 8-48 所示。单击“确定”按钮将进入内嵌的组态王界面开发系统，如图 8-49 所示。

画面开发系统打开时，绘制图形的工具箱会自动显示。如果工具箱没有出现，可以执行菜单命令“工具”→“显示工具箱”或按 F10 键打开它。工具箱中各种工具的使用与 Windows 中“画笔”类似。

（1）输入文本。在画面工具箱中单击“T”按钮，然后在画面上合适的位置单击鼠标左键，就可以输入文字，输入“通风系统状态监控”，单击 按钮，可以更改字体的大小、格式等，利用调色板可以更改字体的颜色，设置完成后将其放置到合适的位置。按照同样的操作方法分别输入风机一、风机二、风机三、风机四、通风良好指示灯、通风不佳指示灯和通风故障指示灯等。

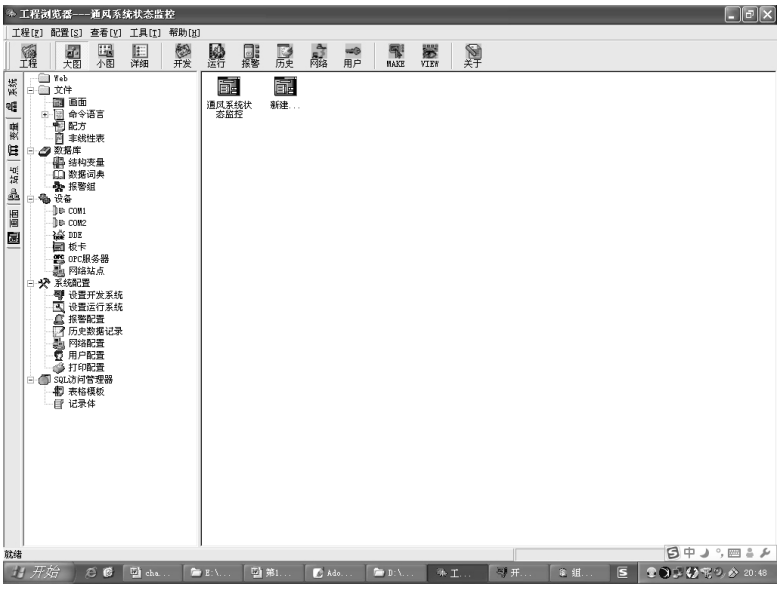


图 8-47　工程浏览器



图 8-48　新建监控画面

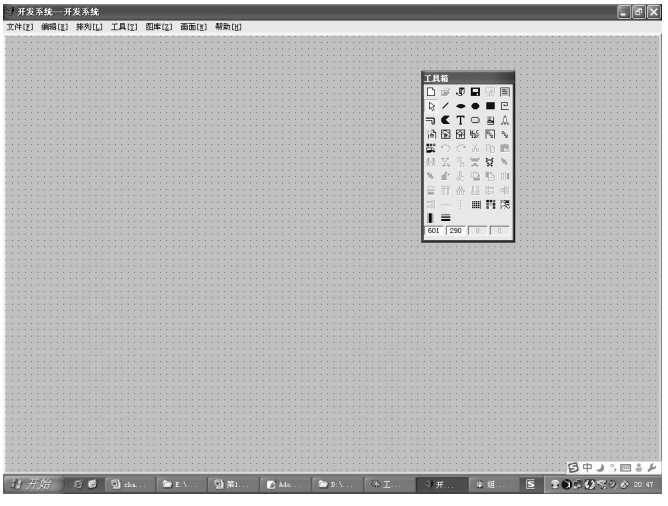


图 8-49　画面开发系统

（2）生成图形对象。执行菜单命令“图库”→“打开图库”，或者按 F2 键，就可以打开组态王自身的图库，如图 8-50 所示。在图库中包含了常用的设备和仪表，双击图库中某一图形，然后在画面上单击鼠标左键，就可以放置好该元件。

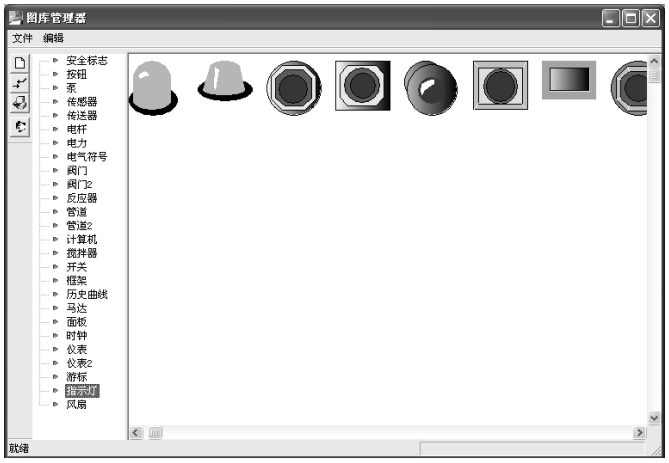


图 8-50　组态王系统图库

使用图库生成图像元素首先可以降低工程人员设计界面的难度，缩短开发周期；其次使用图库开发的软件具有统一的外观，便于工程人员学习和掌握；最后，利用图库的开放性，工程人员可以生成自己的图库元素，“一次构造，随处使用”，节省了工程人员的精力。

（3）保存画面。执行菜单命令“文件”→“全部保存”，将现有的画面保存。

利用相同的方法，可以创建多个监控画面。

3）定义 I/O 设备

为方便定义外围设备，组态王设计了“设备配置向导”引导用户完成设备的连接。

（1）串口设置。在工程浏览器中选择“设备”项，双击其下面的“COM1”分支，弹出串口设置对话框，如图 8-51 所示。



图 8-51　串口设置对话框

因为连接的是三菱 FX_{2N} 系列 PLC，根据其通信协议，设置波特率为 9600，奇偶校验为偶校验，数据位为 7，停止位为 1，通信方式为 RS—232。

（2）PLC 设置。在组态王工程浏览器的左侧选中“COM1”，在右侧双击“新建”图标，运行“设备配置向导”，选择设备配置向导中的“PLC”→“三菱”→“FX2”→“编程口”，如图 8-52（a）所示。单击“下一步”按钮，为新的外围设备取一个名称，输入“FX2PLC”，如图 8-52（b）所示。再单击“下一步”按钮，为设备选择连接串口，应与前面设置的串口号一致，一般设为“COM1”，如图 8-52（c）所示。单击“下一步”按钮，填写设备地址，组态王的设备地址必须与 PLC 的设置保持一致，假设为 0，如图 8-52（d）所示。单击“下一步”按钮，进行通信参数的设置（设置通信故障恢复参数），一般情况下使用系统默认设置即可，如图 8-52（e）所示。单击“下一步”按钮，弹出“信息总结”对话框，检查各项设置是否正确，确认无误后，单击“完成”按钮，如图 8-52（f）所示。

设备定义完成后，可以在工程浏览器的右侧看到新建的外部设备“FX2PLC”。在定义数据变量时，只要把 I/O 接口连接到这台设备上，就可以和组态王交换数据了。

如果还需要连接有其他设备，只需按照刚才的步骤，正确设置即可。



（a）生产厂家、设备名称、通信方式设置



（b）逻辑名称设置



（c）串口号设置



（d）设备地址设置

图 8-52　设备配置向导



（e）通信参数设置



（f）信息总结设置

图 8-52　设备配置向导（续）

4）变量设置

在工程浏览器中单击“数据字典”，再双击右栏中的“新建变量”，出现图 8-53 所示的对话框。在“变量名”文本框中输入“X0 风机 1”，变量类型选择为 I/O 离散，连接设备为 FX2PLC，寄存器为 X0，数据类型是 bit，勾选“允许 DDE 访问”选项，设置好采集的频率及读写属性，其余选默认设置，单击“确定”按钮返回。其他变量按照相同的步骤设置即可。

5）建立动画连接

双击图形对象，或者用右键单击图形对象，在菜单中选择“动画连接”，就会弹出所要定义的图形对象动画连接对话框。

指示灯动画连接：在组态王开发系统中双击运行正常指示灯图形对象，弹出相应的“指示灯向导”对话框。设置对应的变量名，与变量建立关系，根据变量的状态，显示相应的颜色，如图 8-54 所示。



图 8-53 “定义变量”对话框



图 8-54 “指示灯向导”对话框

图素动画连接：风机的旋转是通过两个颜色不同的扇叶相互切换来实现的，通过“隐含”动画连接可以形象地反映旋转值得状态。

在组态王开发系统中双击绘制的风机图形对象，弹出相应的动画连接对话框。选择特殊栏的“隐含”选项后弹出图 8-55 所示的对话框。在隐含连接条件表达式中设置对应的变量名或条件表达式，图像根据变量或表达式的结果来显示还是隐含。



图 8-55　隐含连接条件

6）运行和调试

基于组态王的风机运行监控工程初步建立起来后，就可以进入运行和调试阶段。首先要对运行系统的环境进行配置。在工程浏览器的工具条中单击“运行”按钮，或者选择左侧树形选项中的“系统配置”→“设置运行系统”命令，弹出图 8-56 所示的“运行系统设置”对话框，根据需要选择相应的配置。

组态完成后，连接好通信电缆、PLC 和输入/输出电路及风机运行的主电路。单击工程管理器中的“运行”工具条，或者工程浏览器中的“VIEW”工具条，进入组态王监控状态。

根据预先设置好的程序运行系统，测试监控系统的控制是否符合要求、动作是否准确、显示是否一致等。如果存在问题，退出监控状态后在开发环境下再检查、修改、保存、测试，直到完全正确为止。系统运行效果如图 8-57 所示。

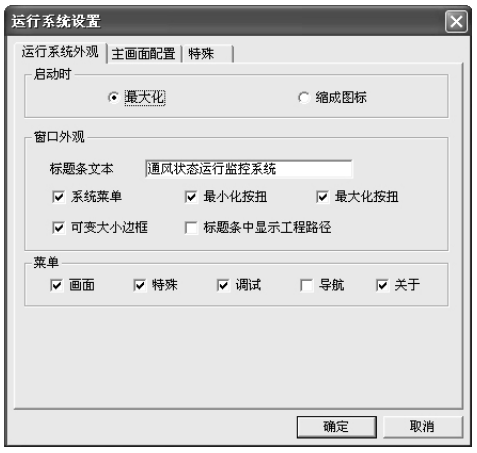


图 8-56 “运行系统设置”对话框



图 8-57　系统运行效果

实例分析

本例以风机运行状态监控的组态介绍了组态王的一些最基本的功能和操作。组态王一个显著的特点就是引入了对象，使其具有面向对象软件的特征。此外，动画连接的功能使得组态王能更逼真地显现工业现场的设备运行状况。除了例子中提到的功能外，组态王还提供了各种控件、实时趋势曲线、实时报警、报表系统、配方管理、数据库连接、系统安全管理等功能，为工程人员开发各类监控系统提供了极大的便利，读者可参考有关资料做进一步学习。

思考题

1．简述触摸屏的工作原理和特点。
2．简述人机界面设计的过程和步骤。
3．人机界面设计的一般原则有哪些？
4．分别用组态软件和组态王软件设计电动机正反转控制组态。
5．用组态王软件实现交通信号灯系统运行状态监控的组态。

第 9 章　PLC 应用系统控制设计

PLC 控制系统的设计要求设计者除掌握必要的电气设计基础知识外，还必须反复实践，深入生产现场，将积累的经验应用到设计中来。虽然各种工业控制系统的功能、要求不同，但在设计 PLC 控制系统时，所遵循的设计原则、设计步骤和设计方法基本相同。PLC 控制系统的设计包括三个重要的环节：一是通过对控制任务的分析，确定控制系统的总体设计方案，即进行系统规划；二是根据控制系统要求确定硬件构成方案，即进行系统硬件设计；三是设计出满足控制要求的控制程序，即进行系统程序设计。本章以具体的应用实例对 PLC 控制系统的一般设计原则与步骤、硬件设计和用户程序设计方法进行介绍。

9.1　PLC 控制系统设计的基本原则与步骤

9.1.1　设计的基本原则

任何一种控制系统都是为了实现被控对象的工艺要求，以提高生产效率和产品质量的。因此，在设计 PLC 控制系统时，应遵循以下基本原则。

1. 最大限度地满足被控对象的控制要求

充分发挥 PLC 的功能，最大限度地满足被控对象的控制要求，是设计 PLC 控制系统的首要前提，也是设计中最重要的一条原则。这就要求设计人员在设计前要深入现场进行调查研究，既要收集控制现场的实用资料，也要收集相关的国内、国外先进技术资料。同时要注意与现场的工程管理人员、工程技术人员、操作人员紧密配合，拟订控制方案，共同解决设计中的重点问题和疑难问题。

2. 保证 PLC 控制系统安全可靠

保证 PLC 控制系统能够长期安全、可靠、稳定运行，是设计控制系统的另一条重要原则。这就要求设计者在系统设计、元器件选择、软件编程上要全面考虑，以确保控制系统安全可靠。例如，应该保证 PLC 程序不仅在正常条件下运行，而且在非正常情况下（如突然掉电再上电、按钮按错等）也能正常工作。

3. 力求简单、经济、使用及维修方便

一个新的控制工程固然能提高产品的质量和数量，带来巨大的经济效益和社会效益，但新工程的投入、技术的培训、设备的维护也将导致运行资金的增加。因此，在满足控制要求的前提下，一方面要注意不断地扩大工程的效益；另一方面也要注意不断地降低工程的成本。这就要求设计者不仅应该使控制系统简单、经济，而且要使控制系统的使用和维护方便、成本低，不宜盲目追求自动化和高指标。

4. 适应发展的需要

由于技术的不断发展，控制系统的要求也将会不断地提高，设计时要适当考虑到今后控制系统发展和完善的需要。这就要求在选择 PLC、输入/输出模块、I/O 端子数和内存容量时，要适当留有裕量，以满足生产的发展和工艺改进的需要。

9.1.2 设计的步骤与内容

PLC 控制系统的设计流程图如图 9-1 所示。一般包括系统规划、硬件设计、软件设计、系统调试及编制技术文件五个步骤。需要注意的是，在设计的过程中始终要遵循控制系统设计的基本原则。

1. 系统规划

系统规划为设计的第一步，内容包括确定控制系统方案与总体设计两部分。确定控制系统方案时，应首先明确控制对象，包括机械传动系统、电气传动系统、液压传动系统、气动传动系统等；其次要根据实现的动作与功能、生产工艺要求、传动方案的技术指标与设备的现场布置情况；再次根据控制系统工艺复杂性、控制复杂性确定软件与硬件分工；在此基础上确定系统的技术实现手段，选择系统的总体结构形式与组成部件。

系统规划的具体内容包括：明确控制要求，确定系统类型，确定硬件配置要求；选择 PLC 的型号、规格，确定 I/O 模块的数量与规格，选择特殊功能模块；选择人机界面、伺服驱动器、变频器、调速装置等。

1）PLC 的机型选择

机型选择的基本原则是在功能满足要求的前提下，保证运行安全可靠、维护使用方便及具有最佳的性价比，一般考虑选用大公司的 PLC 产品。具体应考虑以下 6 个方面。

（1）结构选择合理，安装方便。PLC 在结构上有整体式、模块式和叠装式三种。整体式的每一个 I/O 端子的平均价格比模块式和叠装式的便宜，所以人们一般倾向于在小型控制系统中采用整体式 PLC。但是，模块式和叠装式 PLC 的功能扩展方便灵活，I/O 端子数的多少、输入点数与输出点数的比例、I/O 模块的种类和块数、特殊 I/O 模块的使用等方面的选择余地都比整体式 PLC 大得多，维修时更换模块、判断故障范围也很方便。因此，对于较复杂的和要求较高的系统一般应选用模块式和叠装式 PLC。

根据 PLC 的安装方式，控制系统分为集中式、远程 I/O 式和多台 PLC 联网的分布式。集中式不需要设置驱动远程 I/O 的硬件，系统反应快、成本低。大系统常用远程 I/O 式，因为它们的 I/O 装置分布范围很广，远程 I/O 可以分散安装在 I/O 装置附近，I/O 连线比集中式的短，但是需要增设驱动器和远程 I/O 电源。多台联网的分布式适用于多台设备独立控制和相互联系，可以采用小型 PLC，但是要附加通信模块。

（2）功能适中，符合控制条件。

① 对于小型单台仅需要开关量控制的设备，一般的小型 PLC 都可以满足要求，如果选用有增强型功能指令的 PLC，就显得有些大材小用了。

② 对于以开关量控制为主带少量模拟量控制的工程项目，可选用带 A/D、D/A 转换，具有加减运算、数据传送功能的低档机。

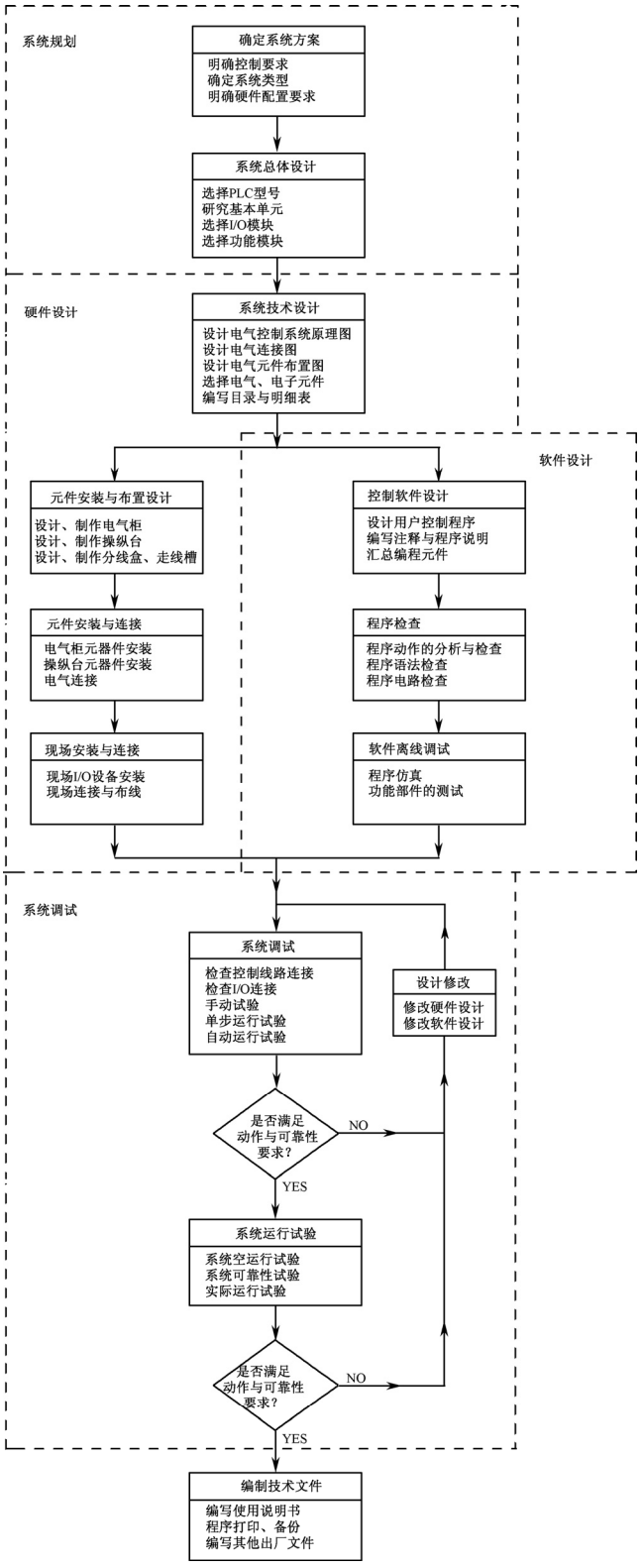


图 9-1　PLC 控制系统的设计流程图

③ 对于控制比较复杂、控制功能要求更高的工程项目，如要求实现 PID 运算、闭环控制、通信联网等功能时，可视控制规模及复杂程度，选用中档或高档机。其中，高档机主要用于大规模过程控制、全 PLC 的分布式控制系统及整个工厂的自动化等。

（3）机型统一，方便管控。在一个企业中，应尽量做到机型统一。因为同一机型的 PLC，其模块可互为备用，便于备用和备件的采购与管理；其功能及编程方法统一，有利于技术力量的培训、技术水平的提高和功能的开发；其外围设备通用，资源可共享。

同一机型 PLC 的另一个好处是，在使用上位机对 PLC 进行管理和控制时，通信程序的编制比较方便。这样，容易把控制各独立系统的多台 PLC 联成一个多级分布式控制系统，相互通信，集中管理，充分发挥网络通信的优势。

（4）响应时间短，满足控制要求。PLC 的响应时间是指输入信号产生时刻与由此而使输出信号状态发生变化时刻的时间间隔。PLC 不能可靠地接收持续时间小于扫描周期的输入信号。系统响应时间影响到 PLC 对现场的响应速度，最终影响控制系统的运行速度，因此我们可用系统响应时间来衡量响应速度。PLC 系统响应时间与其扫描周期有关：

系统响应时间=输入滤波时间+输出滤波时间+扫描周期×2

对大多数应用场合来说，PLC 的响应时间并不是主要的问题，但对某些要求快速响应的控制系统，则必须考虑 PLC 的响应时间。例如，要检测图 9-2 所示传送带上产品的数量，若产品的有效检测宽度为 2.5cm，传送速度为 50m/min，则产品通过检测点的时间间隔：

$$T=\frac{2.5\text{cm}}{50\text{m}/\text{min}}=\frac{0.025\text{m}}{50\text{m}/60\text{s}}=30\text{ms}$$

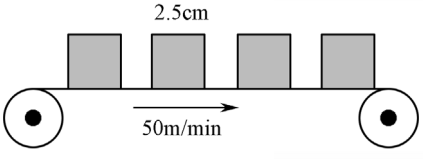


图 9-2　产品检测传送带示意图

确保不漏检传送带上的产品，必须选用响应时间小于 30ms 的 PLC，这并不是所有的 PLC 都能达到的。为了减少 PLC 的 I/O 响应延迟时间，可以选用快扫描速度的 PLC，使用高速 I/O 处理这一类的功能指令，或者选用快速响应模块和中断处理模块。

（5）具备联网通信功能，有利于组网控制。近年来，工厂自动化得到了迅速的发展，企业的可编程设备（如工业控制计算机、PLC、机器人、柔性制造系统等）已经很多，将不同厂家生产的这些设备连在一个网络上，互相之间进行数据通信，由企业集中管理，已经是很多企业必须面对的问题。因此，在设计或改造控制系统时，选用的 PLC 尽可能具有联网通信功能。这样有利于企业组网，实现集中控制管理。例如，三菱 FX_{2N} PLC 提供一个或一个以上的串行标准接口 RS—232C 和各种通信模块，以便于连接打印机、CRT、上位机或其他 PLC。

（6）其他特殊功能要求。要考虑被控对象对于 PID 闭环控制、高速计数和运动控制等方面的特殊要求，可以选用有相应特殊 I/O 模块的 PLC。对于可靠性要求极高的系统，应考虑是否采用冗余控制系统或热备用系统。

有模拟量控制功能的 PLC 价格较高。对于单台小型设备，可以考虑用模拟电路控制模拟量。对于精度要求不高的恒值调节系统，可以用电接点温度表和电接点压力表这类传感器提供上、下限开关量信号，将被控制热处理量控制在设定的范围内。

2）PLC 容量的确定

PLC 的容量是指 I/O 端子数和用户存储器量（字数）两方面的含义。在选择 PLC 型号

时不应盲目追求过高的性能指标，但是在 I/O 端子数和存储器容量方面除了要满足控制系统要求外，还应留有裕量，以做备用或系统扩展时使用。

（1）I/O 端子数的确定。PLC 的 I/O 端子数以系统实际的输入/输出点数为基础确定。在选定 I/O 端子数时，应留有适当裕量。目前 PLC 的 I/O 端子价格还较高，平均每点为 100～200 元人民币。如果备用的 I/O 端子数量太多，就会使成本增加。因此，通常 I/O 端子数可按实际需要的 10%～15%考虑裕量。

（2）存储器容量的确定。通常，一条逻辑指令占存储器一个字，计时、计数、移位、算术运算、数据传送等指令占存储器两个字。各种指令占存储器的字数可查阅 PLC 产品使用手册。在选择存储容量时，一般可按实际需要的 25%～30%考虑裕量。

存储器容量的选择有两种方法：一种是根据编程实际使用的节点数计算，这种方法可精确地计算出存储器的实际使用容量，缺点是要编完程序之后才能计算；常用的方法是估算法，用户可根据控制规模和应用目的，按表 9-1 给出的公式进行估算。

表 9-1　估算公式

控 制 目 的	估 算 公 式
代替继电器进行开关量	$M=K_m[(10\times D_I)+(5\times D_O)]$
模拟量模块	$M=K_m[(10\times D_I)+(5\times D_O)+(100\times A_I)]$
多路采样控制	$M=K_m[(10\times D_I)+(5\times D_O)+(100\times A_I)][1+采样\times 0.25]$

表 9-1 中，D_I——数字（开关量）输入信号数目；

D_O——数字（开关量）输出信号数目；

A_I——模拟量输入信号数目；

K_m——每个节点所占存储器字节数；

M——存储器容量。

例如，某企业某车间的控制系统有 52 个开关量输入信号、32 个数字输出信号、6 点模拟量输入。假定一个节点占用一个存储器字节，则该控制系统所需存储器容量为

$$M=[(10\times 52)+(5\times 32)+(100\times 6)]=1280（B）$$

按照 25%～30%的裕量，本例可选用 1.5 KB 或 2 KB 的存储器为宜。

3）I/O 模块与电源模块的选择

I/O 端口或模块的价格占 PLC 价格的一半以上。不同的 I/O 模块，其电路和性能不同，它直接影响着 PLC 的应用范围和价格，应该根据实际情况合理选择。

（1）输入模块的选择。输入模块的作用是接收现场的输入信号，并将输入的高电平信号转换为 PLC 内部的低电平信号。输入模块的种类，按电压分类，直流有 5V、12V、24V 等多种，交流有 110V、220V 两种。按电路形式不同分为汇点输入式和分隔输入式两种。

选择输入模块应注意以下 3 个方面。

① 电压的选择：应根据现场设备与模块之间的距离来考虑，一般 5V、12V、24V 属低电平，其传输距离不宜太远。例如，5V 模块最远不得超过 10m，距离较远的设备应选用较高电压的模块。

② 同时接通的点数：高密度的输入模块，如 32 点、64 点等，同时接通的点数与输入电压的高低及环境温度有关，不宜过多。一般来说，同时接通的点数不要超过输入点数的

60%。

③ 门槛电平：为了提高控制系统的可靠性，必须考虑门槛电平的大小。门槛电平越高，抗干扰能力越强，传输距离也就越远。

（2）输出模块的选择。输出模块的作用是将 PLC 的输出信号传递给外部负载，并将 PLC 内部的低电平信号转换为外部所需电平的输出信号。输出模块按输出方式不同分为继电器输出型、晶体管输出型、晶闸管输出型等多种。此外，输出电压值和输出电流值也各有不同。

选择输出模块应注意以下 3 个方面。

① 输出方式：继电器输出型模块适用于驱动较大电流负载，其价格较便宜，适用电压范围较宽，导通压降小。但它属于有接点元件，其动作速度较慢、寿命较短，因此适用于不频繁通断的负载。当驱动感性负载时，其最大通断频率不得超过 1Hz。对于频繁通断的低功率因数的电感负载，应采用无接点开关元件，即选用晶体管输出（直流输出）或晶闸管输出（交流输出）。

② 输出电流：输出模块的输出电流必须大于负载电流的额定值。用户应根据实际负载电流的大小选择模块的输出电流。

③ 同时接通的点数：输出模块同时接通点数的电流累计值必须小于公共端所允许通过的电流值。例如，一个 220V、2A 的 4 点输出模块，每个点当然可以通过 2A 的电流，但输出公共端允许通过的电流不可能是 2A×4=8A，通常要比这个值小得多。因此在选择输出模块时也应考虑同时接通的点数。一般来说，同时接通的点数不要超过输出点数的 60%。

（3）电源模块的选择。电源模块的选择比较简单，只需要考虑输出电流。电源模块的额定输出电流必须大于 CPU 模块、I/O 模块、专用模块等消耗电流的总和。

2．硬件设计

硬件设计是指在系统规划与总体设计完成后的技术设计。在这一阶段，设计人员需要根据总体方案完成电气控制原理图、连接图，PLC 模块安装、接线图，元件布置图等基本图样的设计工作。

硬件设计时需要根据 PLC 的控制类型，即单机控制、集中控制、远程 I/O 控制和分布式 PLC 控制等进行区分。

1）单机控制

单机控制是指一个控制对象（设备、简单生产线等）采用一台 PLC 进行控制的情况，各控制部分相对集中、控制对象与其他设备间无协同控制要求的场合。其硬件构成主要以 PLC 的 I/O 模块、功能模块及其他辅助控制装置（如伺服驱动器、变频器等）为主。因此，硬件设计时可能包含以下 5 部分。

（1）可编程控制器模块安装图。如果选用的可编程控制器的结构形式为模块式结构，则要根据安装要求，首先画出模块安装图，以确定各模块的地址。

（2）可编程控制器输入/输出接线图。所有的外部检测信号和操作按钮作为可编程控制器的输入信号连接在输入接点上。其中，行程开关、电器触点、按钮、多位开关等无源信号可直接接在可编程控制器的输入接点上；而压力信号或其他有源信号需要外接电源并经过滤波后接入可编程控制器的输入接点上。可编程控制器输出接点与外部输出器件连接时，按外

部器件的工作电压分类分别接在可编程控制器的输出接点上，同一个电压级别的输出组件接一个公共端。对于大容量的输出组件，当不能直接接入可编程控制器的输出接点上时，要采用中间存储器和接触器作为放大装置。输出接点上接电感负载时，要并接续流二极管续流；指示灯接直流电压时，要串接电阻。

（3）模拟量输入/输出模块接线图。如果选用了模拟量输入/输出模块，则按要求将外部模拟量与可编程控制器的模拟量输入、数字量输出模块相连接，注意电量的类型、大小要与模拟量模块输入/输出的类型、大小匹配。

（4）功能模块接线图。如果选用了步进电动机驱动、伺服电动机驱动、变频器等功能模块，则要画出这些模块与步进电动机驱动器、伺服放大器、变频器等的接线图。

（5）供电电路图。供电电路的作用主要用来控制整个系统的通电和断电，为输入检测元件、输出执行元件及其他装置或设备提供各种交、直流电源。

2）集中控制

集中控制是指利用一台 PLC 控制多个控制对象（如数台设备、生产线等）的情况，适用于控制对象相对集中、单台设备的动作较简单、对象动作间有协同控制要求的多对象控制的场合。集中控制系统与单机控制系统一样，只使用一台 PLC 进行控制，它只是单机控制系统的扩展。控制对象间的数据传送、状态检测无须专门的通信线路与通信程序，可降低生产成本，方便调试与维修。其缺点是当控制对象的某部分发生故障时，全系统都要停止工作。因此，在硬件设计时与单机控制硬件设计内容相同，但系统软、硬件设计时特别注重系统的安全性与“冗余”条件。

3）远程 I/O 控制

远程 I/O 控制是集中控制系统的一种，它同样是由一台 PLC 控制多个控制对象，但远程 I/O 控制系统中的部分控制对象远离 PLC 主机布置，需要通过远程 I/O 模块与主机进行连接。远程 I/O 控制系统适用于设备体积较大，控制对象相对分散，但对象动作间有协同控制要求的场合。远程 I/O 控制系统一般都需要采用现场总线（如 CC-Link 等）进行 PLC 与 I/O 单元间的数据通信与信息交换，它对 PLC 的通信功能有一定的要求。其硬件构成，在单机与集中控制 I/O 模块、功能模块，以及其他辅助控制装置（如伺服驱动器、变频器）的基础上，增加远程 I/O 模块、总线接口通信模块、现场总线等必要的功能模块与硬件设施。为了更好地对控制现场进行观察与监控，系统中一般需要现场监视器、状态显示器等必要的外围设备，系统构成相对较复杂。因此，硬件设计时除了单机控制所需要的硬件设计图外，还包含：① I/O 模块接线图，根据安装要求，首先画出远程 I/O 模块现场总线接线图，并确定各模块的相应通信地址；② 外围设备接线图，若远程 I/O 控制系统中有现场监视器、状态显示器等必要的外围设备，还必须画出各外围设备与相应模块间的接线图。

4）分布式 PLC 控制

分布式 PLC 控制是一种以 PLC 为主体构成的网络控制系统。系统的一个或相对集中的数个控制对象由一台独立的 PLC 进行控制，构成相对独立的单机或集中控制控制单元，各单元 PLC 之间通过网络总线连接，组成生产现场控制网，并由上位机进行统一调度与管理。分布式 PLC 控制系统适用于柔性加工系统（FMS）、车间自动化系统、大型生产线、装配流水线等，是目前 PLC 应用领域的高级阶段。它事实上是单机控制、集中控制、远程 I/O

控制的集成与综合。各 PLC 单元相对独立，同样使用现场总线等通信技术进行 PLC 与 I/O 单元间、PLC 与 PLC、PLC 与上位机、PLC 与 I/O 设备间的数据通信与信息交换，系统上位机还需要对各 PLC 单元间进行调度与管理，对 PLC 的网络通信功能要求很高。因此，硬件设计时除了单机控制和远程 I/O 控制所需要的硬件设计图外，还包含网络结构图，即需要画出计算机与多台可编程控制器或上位 PLC 与多台 PLC 组成的网络结构图。硬件系统设计往往需要通过分单元设计、总体集成设计等措施，由多人协作共同完成。

在此基础上，根据 PLC 的安装要求与用户的环境条件，结合所设计的电气原理图与连接、布置图，完成用于安装以上电气元件的控制柜、操纵台等零部件的设计。最后将设计完成的全部图样与外购元器件、标准件等汇编成统一的基本件、外购件、标准件明细表（目录），提供给生产、供应部门组织生产与采购。

3．软件设计

PLC 控制系统的软件设计主要是编制 PLC 用户程序、特殊功能模块控制软件、确定 PLC 及功能模块的设定参数（如果需要）等。它可以与系统电气元件安装柜和操纵台的制作、元器件的采购同步进行。

软件设计应根据所确定的总体方案与已经完成的电气控制原理图，按照原理图所确定的 I/O 地址，编写实现控制要求与功能的 PLC 用户程序。用户程序设计采用模块化设计思想，这样设计的程序一则设计效率高，二则方便阅读与调试。用户程序一般可按功能的不同划分为如下模块。

（1）输入信号采集模块：将所有与可编程控制器输入接点相连接的输入信号输入到可编程控制器中的中间存储器的程序段。该程序段使一个外部输入信号与一个中间存储器相对应，保证在外部输入信号与可编程控制器输入接点发生变化时，程序修改简单而不容易出错。

（2）输出信号控制模块：控制与可编程控制器输出节点相连接的所有执行元件和所有指示灯的程序段。

（3）手动控制模块：手动操作时所有输入/输出之间的逻辑运算指令对应的外部输出信号用一组中间存储器代替。

（4）自动循环控制模块：自动循环操作时所有输入/输出之间的逻辑运算指令对应的外部输出信号分别用另一组中间存储器代替。

（5）功能模块的控制模块：功能模块的初始化、数据的发送和数据的采集等程序段。

（6）故障诊断与显示模块：可编程控制器自诊断信号的输出显示及对被控对象的故障诊断和输出显示程序段。

各模块设计完成后，一般应通过 PLC 编程软件所具备的自诊断功能对 PLC 程序进行基本检查，排除程序中的电路与语法错误。然后在实验室进行模拟调试，对程序的运行进行监控、调试时，实际的输入信号可以用开关和按钮来模拟，各输出量的通断状态用 PLC 上有关的发光二极管来显示，一般不用接 PLC 实际的负载（如接触器、电磁阀、变频器等）。实际的反馈信号（如限位开关的接通等）可以根据流程图，在适当的时候用开关或按钮来模拟。在调试中应充分考虑各种可能的情况，如系统的各种不同的工作方式、有选择序列的流程图中的每一条支路、各种可能的进展路线等，都应逐一检查，不能遗漏，进行反复调试，发现问题后及时修改程序，直至在各种可能的情况下输入量与输出量之间的关系完全符合要

求。如果程序中某些定时器或计数器的设定值过大，为了缩短调试时间，可以在调试时将它们减小，模拟调试结束后再写入它们的实际设定值。在有条件时，应通过必要的模拟与仿真手段，对程序进行模拟与仿真试验。对于初次使用的伺服驱动器、变频器等部件，可以通过检查与运行的方法，事先进行离线调整与测试，以缩短现场调试的周期。为了方便调试、维修，通常需要在软件设计阶段同时编写出程序说明书、I/O 地址表、注释表等辅助文件。

4．系统调试

在控制软件、硬件离线模拟调试基础上，到现场联机总装调试。PLC 的现场调试是检查、优化 PLC 控制系统硬件/软件设计，提高控制系统可靠性的重要步骤。按照调试前的检查、硬件调试、软件调试、空运行试验、可靠性试验、实际运行试验等规定的步骤进行。调试时按“先易后难，先空载再加载”的原则进行，可以将控制系统分成功能块，逐块进行调试，每个功能块可以运用单步、监控、跟踪等方式调试，发现软件、硬件设计的不合理性和各种配线错误，反复调试，排除所发现的问题。任何影响系统安全性与可靠性的设计（如软、硬件设计等）都必须予以修改，绝不可以遗留事故隐患，以免导致严重后果。系统调试直到满足控制要求后，方可投入运行。另外，在调试中要注意对人、机的保护。

5．编制技术文件

在设备安全、可靠运行得到确认后，设计人员可以着手进行系统技术文件的编制工作，一般包括设计的依据、基本结构、各个功能单元的分析、使用的公式和原理、各参数的来源和运算过程、程序调试情况；电气原理图、连接图；编写设备操作、使用说明书，备份 PLC 用户程序等。

文件的编写应正确、全面、规范、系统，必须保证图与实物一致，电气原理图、用户程序、设定参数必须为调试完成后的最终版本。文件的编写还应包括操作规范、步骤及常见故障问题等，以利于操作、保障与维修。

9.2 PLC 控制系统的硬件设计



在设计工程应用系统时，在分析控制系统控制要求和 I/O 端子基础上，首先进行 I/O 端子数的简化，以节省控制系统的硬件成本；然后进行硬件电路设计，硬件电路包括控制系统的主回路与控制回路两大部分。

9.2.1 I/O 端子数的简化

在构成控制系统的工作中，I/O 端子数是控制系统设计的重要一环，控制 I/O 端子数可以降低控制系统的硬件电路成本。由于控制系统价格的约 50%～60%都是 I/O 模块及辅助设备（如通道电源、连接电缆和安装机架等）的价格，因此减少 I/O 端子数是控制成本价格的有效手段。

1．输入点的简化

在 PLC 外部电路设计中首先需要考虑输入点的简化问题。输入点简化方法有输入点的合并、分时分组输入、PLC 程序简化和将信号置于 PLC 之外等常用方法。

（1）输入点的合并。如果某些外部输入信号总是以某种“与或非”串联或并联组合的整体形式出现在梯形图中，可以将它们对应的触点在 PLC 外部串、并联后作为一个整体输入 PLC，只占用 PLC 的一个输入点。

例如，要在三处设置某电动机的启动按钮和停止按钮，可以将 3 个启动按钮（SB1、SB2 和 SB3）并联，将 3 个停止按钮（SB4、SB5 和 SB6）串联，分别送入 PLC 的两个输入点，如图 9-3 所示。与每个启动按钮或停止按钮占用一个输入点的方法相比，这种连接方法不仅节约了输入点数，还简化了梯形图程序。

（2）分时分组输入。有些输入信号可以按输入时机分成几组。例如，某系统有自动/手动两种工作方式，它们不会同时执行，自动/手动这两种工作方式分别使用的输入量可以分成两组输入，如图 9-4 所示。X10 用来输入自动/手动命令信号，供自动程序和手动程序切换之用。图中二极管切断寄生电路，避免错误输入的产生。假设图中没有二极管，系统处于自动状态，SB1、SB2、SB3 闭合，SB4 断开，这时电流从 COM 端流出，经 SB3、SB1、SB2 形成的寄生回路流入 X1 端子，使输入 X1 错误地保持“ON”状态。各开关串联了二极管后，切断了寄生回路，避免了错误输入的产生。

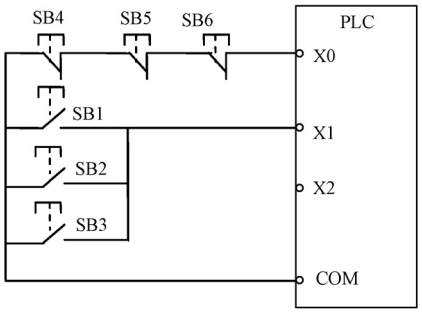


图 9-3　并联连接输入

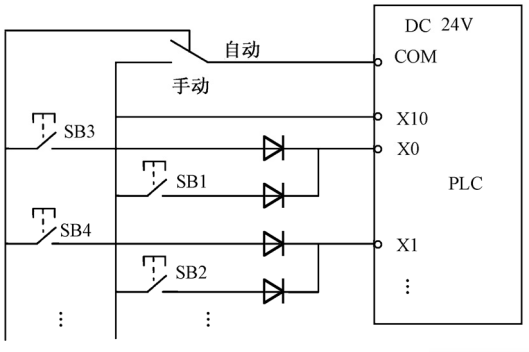


图 9-4　分时分组输入

（3）用 PLC 程序减少多余的输入点。如果通过 PLC 程序能够判定输入信号的状态，则可以减少一些多余的输入。如图 9-5（a）所示，有自动、半自动和手动三种控制方式的切换输入，在程序上用自动和半自动的“非”来表示手动，则可节省一点输入，如图 9-5（b）所示。

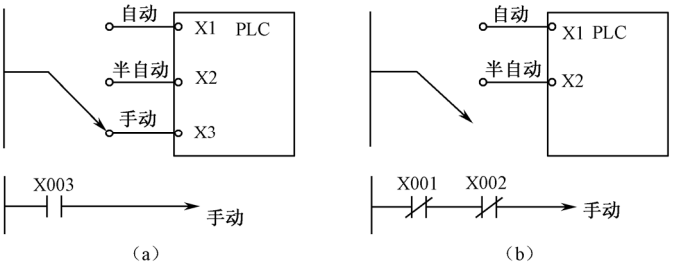


图 9-5　减少多余的输入点

（4）将信号设置在 PLC 之外。系统的某些输入信号，如手动操作按钮、保护动作后需要手动复位的电动机热继电器 FR 的常闭触点等提供的信号，可以设置在 PLC 外部的硬件

电路中，如图 9-6 所示。图 9-6 中将手动操作按钮（SB1 或 SB2）直接和控制的输出接点相并联，可以节省大量的输入点，并可以简化梯形图。有些手动按钮需要串接一些安全连锁触点，如果外部硬件连锁电路过于复杂，应考虑将有关信号送入 PLC，用梯形图程序实现连锁。

2．输出点的简化

与输入点的简化相似，在 PLC 外部电路设计中也需要考虑输出点的简化问题。下面简要说明输出点简化的常用方法。

（1）负载的并联使用。在 PLC 的输出功率允许的条件下，系统中通/断状态完全相同、电压（电流）一致的负载，可以公用一个输出点来驱动，如图 9-7 所示。在图 9-7（a）中，由于负载 M 和状态指示灯 L 完全相同，将图 9-7（a）所示电路改为图 9-7（b）所示电路，用 PLC 的一点输出同时驱动负载 M 和状态指示灯 L，节约了 PLC 的输出点数。

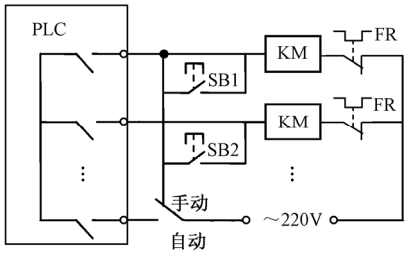
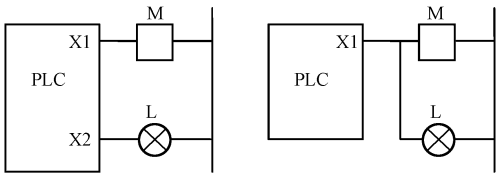


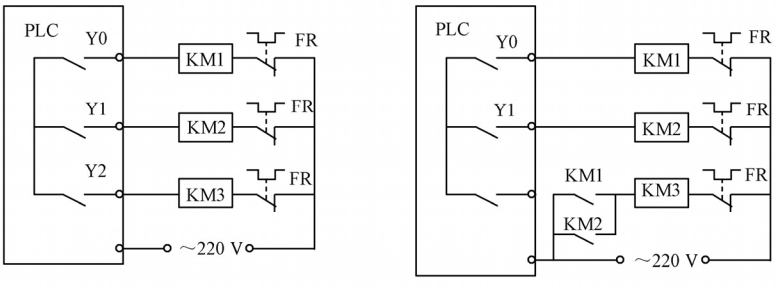
图 9-6　将信号设置在 PLC 之外



（a）简化前　　（b）简化后

图 9-7　负载的并联使用

（2）用接触器的辅助触点节省 PLC 的输出端子数。PLC 控制器输出驱动大功率负载时，往往会通过接触器进行电压或功率的转换。一般接触器除主控功能触点外，还有多对辅助触点。在 PLC 外部电路设计中，可充分利用这些辅助触点来实现 PLC 外围设备的连锁控制，使 PLC 的一个输出点可同时控制两个或多个有不同要求的负载，达到节省 PLC 输出点数的目的。如图 9-8（b）所示，PLC 外部电路中 KM3 接触器用 KM1 和 KM2 的辅助触点代替图 9-8（a）中 Y2 端子控制的 KM3 接触器。



（a）PLC三端子控制三接触器　　（b）PLC两端子与辅助触点控制三接触器

图 9-8　接触器的辅助触点节省 PLC 输出端子数

（3）用数字显示器代替指示灯，用动态扫描技术减少多位数字显示器所需输出点数。如果系统的状态指示灯或程序工步很多，可以用数字显示来代替指示灯，这样可以节省输出点数。对于多位七段数字显示器 LED，如果直接用数字量输出点来控制，所需要的输出点

是很多的。使用动态扫描技术可以大幅度地减少数字显示器输出点数。

在图 9-9（a）所示电路中，16 步的程序指示需要用 16 点输出来驱动指示灯，如果使用 BCD 码的数字显示，并采用动态扫描技术，只需要 6 点输出就可驱动两个带译码驱动的数字显示器，如图 9-9（b）所示，显示数字“00”～“99”的 100 个状态。因此，状态指示灯越多，用数字显示器的优越性就越大。

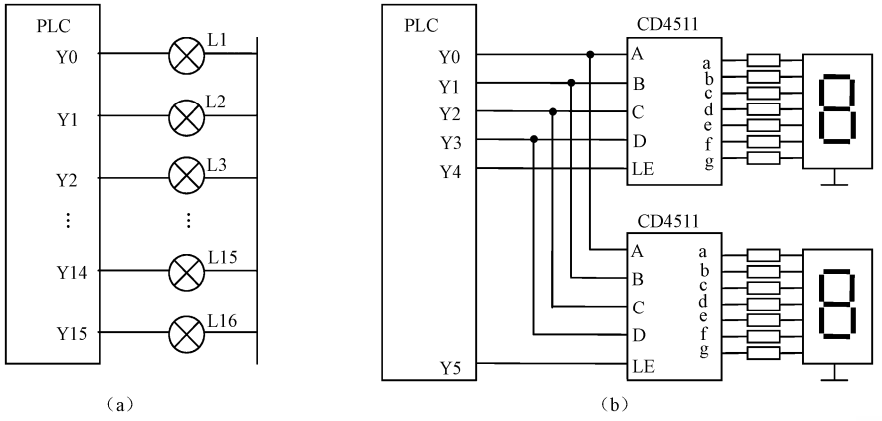


图 9-9　PLC 的数字显示电路

在图 9-9（b）中，用具有锁存、译码、驱动功能的芯片 CD4511 驱动共阴极 LED 七段数字显示器，两只 CD4511 的数据输入端 A～D 共用 PLC 的 4 个输出端。其中，A 为最低位，D 为最高位。LE 是锁存使能输入端，在 LE 信号的上升沿将数据输入端输入的 BCD 数锁存在片内的寄存器中，并将该数译码后显示出来。如果输入的不是十进制数，显示器熄灭。LE 为高电平时，显示的数不受数据输入信号的影响。这样采用驱动芯片动态扫描驱动，N 个显示器占用的输出点数为 P=4+N。

如果使用继电器输出模块，应在与 CD4511 相连的 PLC 各输出端与“地”之间分别接一个几千欧的电阻，以避免在输出继电器的触点断开时 CD4511 的输入端悬空。输出继电器的状态变化时，其触点可能抖动，因此应先传送数据输出信号，待该信号稳定后，再用 LED 信号的上升沿将数据锁存进 CD4511。

如果需要显示和输入的数据较多，最好使用文本显示器或触摸屏。

9.2.2　主回路与控制回路设计

在 I/O 端子简化基础上进行硬件电路设计。硬件设计是对系统进行原理、安装、施工、调试、维修等方面的具体技术设计，设计必须认真、仔细，确保全部图样与技术文件的完整、准确、齐全、系统、统一，并遵循国际、国内有关标准。

一般情况下，PLC 控制系统硬件设计包括控制系统主回路设计，控制回路设计，PLC 输入/输出回路设计，控制柜、操纵台的机械结构设计，控制柜、操纵台的电气元件安装设计，电气连接设计等。

主回路、控制回路、PLC 输入/输出回路的设计属于电气控制原理设计的范畴，以电气原理图的形式体现设计思想与要求。电气原理图中所使用的任何电气元件及它们之间的连接要求、主要规格参数等，均应在电气原理图上得到全面、准确、系统的反映。它是系统安装

与连接设计、系统调试与维修的基础。

控制柜、操纵台的机械结构设计，控制柜、操纵台的电气元件安装设计，电气连接设计属于安装与连接设计的范畴。设计的目的是用于指导、规范现场生产与施工，为系统安装、调试、维修提供帮助，并提高系统的可靠性与标准化程度。

1．主回路设计

1）主回路设计的内容

在电气控制系统中，习惯上将高压、大电流的回路称为主回路。在常见的 PLC 控制系统中，主回路通常包括如下部分。

（1）电动机主回路，包括用于电动机通断控制的接触器、电动机保护的断路器等。

（2）各种动力驱动装置的电源回路与动力回路，如驱动器电源输入回路及其通断控制的接触器、保护断路器、伺服电动机的电枢回路，直流电动机的励磁回路等。

（3）各种控制变压器的原边输入回路，包括通断控制的接触器、保护断路器等。

（4）用于供给控制系统各部分主电源的电源输入与控制回路，包括用于电源变压器、整流器件、稳压器件，以及用于电源回路控制的接触器、保护断路器等。

PLC 控制系统的主回路设计与其他电气控制系统无原则性区别。但必须符合有关标准的规定，并结合 PLC 控制系统的自身特点充分考虑系统的可靠性与安全性。

2）电源总开关

根据 EN 60204—1（VDE 0113 第 1 部分）标准规定，为了使得整个控制系统与电网隔离，机械设备的电气控制装置必须安装电源总开关。

总开关的设计要求：开关必须具有足够的分断能力，必须能够分断处于“堵转”状态的最大电动机的电流与其他所有用电设备和电动机的电流总和。

通过总开关，原则上应能断开设备中的所有用电设备电源。作为一个例外，当设备安装有需要在总电源切断情况下使用的安全保护装置——如维修用电源、维修用照明设备、安全防护的解锁装置等部件时，这部分的电源允许直接连接在设备进线上，不需要通过总开关分断。但是，即便如此，以上电路仍然需要安装独立的短路保护器件（如断路器等）。

3）保护装置的安装

保护装置的安装目的是对设备主回路进行可靠、有效的保护，设备中每一独立的部件都必须安装用于短路、过电流保护的保护器件（如断路器等）。保护器件必须具有足够的分断能力，必须能够可靠分断被保护的用电设备或电动机。

出于调试、维修的需要以及系统的可靠性与安全性的考虑，原则上应对不同类型的主回路，如电动机主回路、驱动主回路等，在每一部件独立安装保护器件的基础上对每一大类分类安装总保护断路器。

对于 I/O 端子数、种类较多，构成复杂、控制要求较高的控制系统，当外部输入/输出信号共用电源时，应采用分组的形式进行供电，每组通过独立的保护断路器进行保护与通断控制。

4）接地与抗干扰

从安全角度考虑，控制系统应安装总接地母线，用于电位平衡与接地。与主回路连接

的各种独立电气控制装置，应有专门的、符合要求的接地连接线与设备接地母线进行连接，以防止干扰，提高可靠性。

系统中容易产生干扰或容易受到外部干扰的电气控制装置，如 PLC、数控装置（CNC）、伺服驱动器、变频器等，应通过隔离变压器、滤波电抗器等与电源进行连接，以抑制线路干扰。

对于系统中需要通断的大功率负载，应在线路上安装浪涌电压吸收器，以抑制负载通断产生的过电压与干扰。

5）辅助控制电源的设计

用于系统安全保护、紧急停机控制的装置（如制动器、安全门保护等）的辅助电源，应确保不会因“急停”等操作而分断。系统中可靠性要求较高的控制部件，如 PLC 的电源输入、CNC 的电源输入等，当它们为直流供电时，应尽可能采用独立的稳压电源进行供电；当采用交流供电时，应安装独立的隔离变压器，原则上不要与系统的其他控制电路与执行元件等共用电源。

2．控制回路设计

PLC 控制系统中的控制回路是指由传感器、I/O 端子连接的继电器、接触器等低压电器构成的弱电控制回路。控制回路设计的基本要求与最高准则是必须保证系统运行安全、可靠。控制回路的设计不仅要考虑设备的正常运行情况，更要考虑到当设备中的机械部件、电气元件发生故障，以及出现误操作、误动作等情况下的紧急处理。无论出现何种情况，控制回路必须能保证设备的安全、可靠停机，并且不会对操作、维修者与设备造成伤害。控制回路的动作设计应在安全、可靠的前提下尽可能简洁、明了，并且方便操作与维修。电路中的元器件选择应尽可能统一、规范，以方便采购供应与维修服务。控制回路的控制电压应符合标准规定，电压种类不宜过多，以降低生产制造成本，提高系统可靠性。

控制回路电路形式有输入接口电路和输出接口电路两种形式，其电源一般有 AC 220V（AC 230V）与 DC 24V 两种。

1）输入接口电路形式

输入接口电路形式的选择取决于输入设备的输入信号的种类，信号的种类可以分为直流、交流和交流/直流通用 3 种。直流输入的电压等级一般为 DC 24V，交流输入的电压等级一般为 AC 220V（AC 230V）。

选用 DC 24V 的输入控制回路时，其输入设备包括传感器和主令开关（含按钮、转换开关、行程开关、限位开关、继电器/接触器触点等）。需要设计 DC 24V 控制回路、紧急分断电路、安全电路等。对于开关类输入，可以选择共点式输入，可以共电源正极或负极，也可以选择分组输入；对于接近开关、光电开关、霍尔开关、磁性开关，有 2 线或 3 线的，应按照产品说明书推荐的电源种类和电压等级、接线方法进行接线；对于传感器，如编码器可能是 4 线制的，有 A、B、C、Z 三相输出和电源线。

选用 AC 220V 控制回路时，其输入设备需要设计 AC 220V（AC 230V）安全电路，（如紧急分断电路等），各种控制装置的 AC 220V（AC 230V）辅助控制电路等。电路选择与 DC 24 V 的输入控制电路相似。

2）输出接口电路形式

PLC 的输出方式有继电器输出、晶体管输出和晶闸管输出 3 种。选择 PLC 的输出方式应与输出设备电气特性相一致，包括接触器、继电器、电磁阀、信号灯、LED，以及步进电动机、伺服电动机、变频电动机控制器等。选用 DC 24V 的输出控制回路时，需要设计 DC 24V 紧急分断电路与安全电路、电磁阀与电磁离合器等执行元件的控制线路、制动器与防护门连锁控制线路，PLC 输出端子的电气特性应选继电器输出型或晶体管输出型，保证电源匹配。选用 AC 220V 控制回路时，其输出设备需要设计 AC 220V（AC 230V）安全电路（如紧急分断电路、安全门控制电路、“双手控制”电路等），电气控制装置、电动机、设备的启动/停止控制线路，AC 220V（AC 230V）接触器的通断控制电路，各种驱动装置、控制装置的 AC 220V（AC 230V）辅助控制电路等。PLC 输出端子的电气特性应选晶闸管输出和继电器输出型。

PLC 所接负载的功率应当小于 PLC 的 I/O 点的输出功率。为了提高可靠性，应当适当降额使用。

3．安全电路设计

控制系统的 PLC 外围电路设计往往是影响系统运行安全性、可靠性，决定系统成败的关键。PLC 是专门为工业环境设计的控制装置，其本身的安全性、可靠性已经得到了良好的保证。但是，如果外部条件不能满足 PLC 的基本要求，同样可能影响系统的正常运行，造成设备运行的不稳定，甚至危及设备与人身安全。因此，在系统设计时必须始终将安全性、可靠性放在十分重要的位置。设计安全电路时需要考虑安全触点的使用、控制线路的互锁、紧急分断电路、安全门控制等，同时考虑系统的冗余，确保安全、可靠。

1）安全触点的使用

电气控制系统中用于安全回路的“主令元件”（如紧急分断按钮、超程保护开关等）触点元件，必须满足 EN 60947—5—1（1EC 947—5—1）标准的规定。

应特别注意标准中的“强制释放”要求，即安全触点“必须依靠形位配合，不得用弹簧零件”使其动作。也就是说，用于紧急分断、超程保护的按钮、开关，必须使用由操作件或手动直接作用的“常闭”触点，而不可以使用常开触点信号。采用“常闭”触点的优点：即使触点发生“熔焊”，也可以通过直接作用力产生的机械变位有效断开“熔焊”，保证安全回路的正常动作。标准还规定“用于紧急分断的操作件，必须能保持在操作（紧急分断）的位置上；只有使用手或工具直接作用于紧急分断操作电器上，才能解除操作”。也就是说，不允许使用自动“复位”的普通按钮和限位开关。

简而言之，用于设备紧急停止的按钮、超程保护的开关等，只能使用“常闭”触点，而且紧急停止的按钮、超程保护的开关必须具有自锁功能，即应采用具有安全功能的行程开关、旋转复位或拉/压复位的“急停”按钮等。

2）控制线路的“互锁”

当两个（只）电气执行元件（如电动机正/反转控制接触器）同时动作可能引起电源短路、机械部件损伤时，为了保证控制系统工作可靠性，在 PLC 控制系统中，如果这些执行元件是通过 PLC 的输出进行控制的，那么在设计时不仅要在 PLC 程序中保证这些执行元件不能同时动作，而且还必须同时通过线路中的电磁执行机构（机械连锁装置）进行电气（机

械）“互锁”，保证这些执行元件不存在同时动作的可能性，如图 9-10 所示。

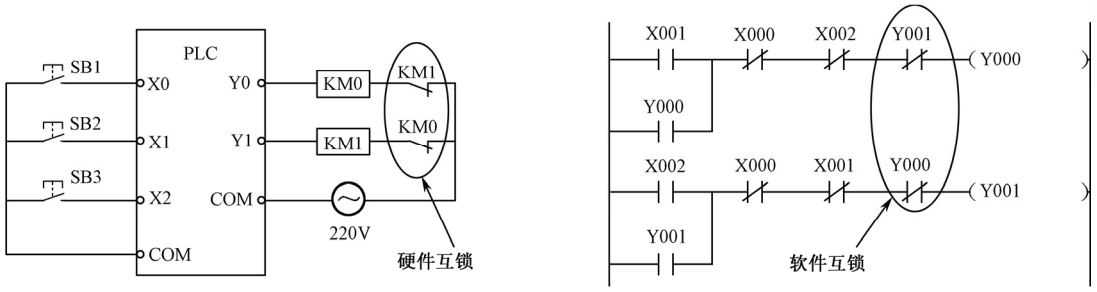


图 9-10 “互锁”设计

3）紧急分断电路

根据 EN 60204—1 标准规定，用于工业设备的电气控制装置，在出现危险情况时必须能通过紧急分断电路尽快使主机停止运行，以免对人或设备造成伤害。

标准规定，紧急分断电路可以通过安装紧急分断开关分断和紧急分断控制电路两种方法实现，紧急分断电路设计要点与要求如下：

（1）用于紧急分断的接触器，必须通过若干个接触器的触点同时工作，以实现“冗余”，保证在一个接触器故障时，安全回路仍然能够保持有效。

（2）安全电路使用的接触器，其“常开”、“常闭”触点必须满足“强制执行”条件，“常开”、“常闭”触点不允许有“同时接通”的现象。

（3）用于紧急分断的安全电路，不允许通过 PLC 进行控制，必须使用机电式执行元件，如接触器等控制电路。

（4）用于紧急分断的安全电路，不允许在线路中接入紧急分断控制的主令元件、控制触点以外的其他继电器/接触器触点、线圈等电气元件。

根据 EN 60204—1 标准（1993 年 6 月版）的推荐，安全电路建议采用图 9-11 所示的控制线路。

4）安全门控制

工业控制设备中，凡是可能危及操作者人身安全的设备与部件，均应安装安全防护门，以确保操作者的人身安全。

根据 EN 1088 标准规定，对安全防护的防护门设计要点与要求如下：

（1）安全门应带有安全锁定装置，确保在完成危险的生产过程前，锁定安全门，防止未授权进入与错误打开。

（2）当打开安全门时，必须停止危险的机器运动。

（3）确保安全装置上的操作保护，应使用编码等方式，防止意外操作的可能性。在使用无操作保护的安全装置时，设计者可以通过隐蔽式安装确保操作安全。

5）冗余设计

所谓“冗余设计”，是指控制系统为了保证其安全性与可靠性，防止由于某一元件故障而产生安全性、可靠性事故，在正常情况下人为增加并不需要的“多余”控制器件、重复使用触点等措施，从而提高线路的可靠性。

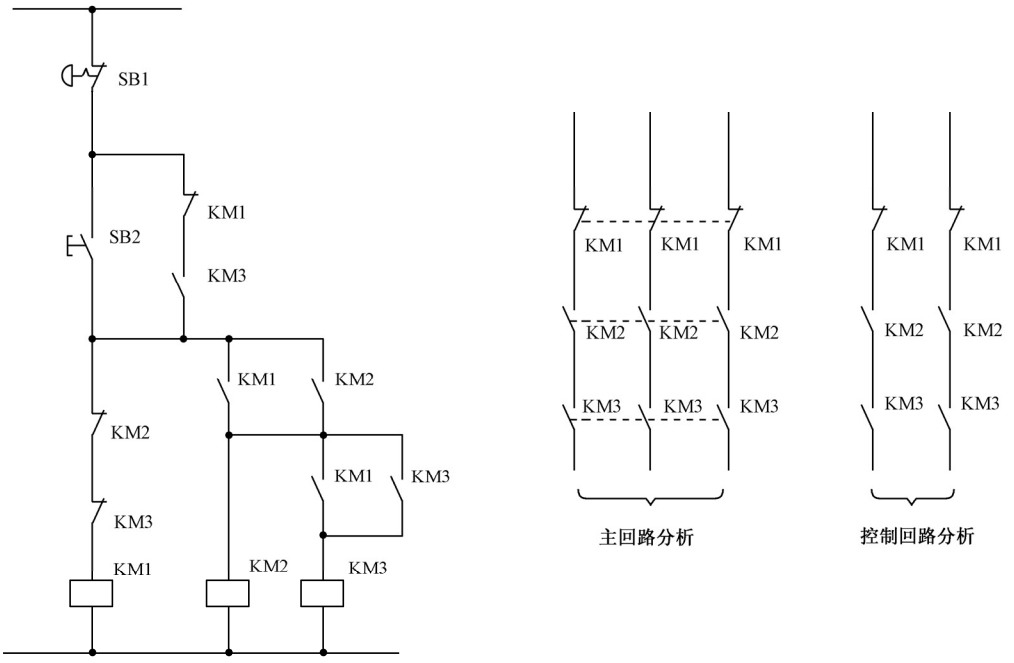


图 9-11　标准安全电路

控制系统的“冗余设计”主要应用于两个方面：一是各类安全电路中的强电控制器件的“冗余设计”，如紧急分断电路；二是 PLC 的“冗余设计”，即 CPU 的“冗余”，如果 PLC 有主 CPU 模块和备用 CPU 模块，两套 CPU 模块使用相同的程序且并行工作，属于“热备份”系统。

在 PLC“冗余”系统中，需要配置两套完全相同的电源、通信、CPU 等模块，两套 CPU 系统通过通信接口连在一起，同时工作，其中一套（主系统）用于正常控制，另一套（备用系统）运行同样的控制程序，但其输出被禁止。当主系统出现故障时，备用系统立即接管系统控制权，成为主系统，保证设备的正常运行。同时，维修人员可以对出故障的系统进行维修处理，完成维修后装入系统中成为备用系统。如此不断交替工作，保证了系统的不停机连续工作。PLC“冗余”需要采用具有“冗余”功能的 CPU 系统，如三菱的 Q12PRH、Q25PRH 等，主要用于对安全性、可靠性要求十分高的场合，避免由于 PLC 故障而出现停机与安全事故，如大型生产线、化工设备等由于 PLC 的停机可能引发重大安全、质量事故的控制。

9.3　PLC 系统控制程序设计方法

PLC 控制程序在整个 PLC 控制系统中处于核心地位，程序质量的好坏对整个控制系统的性能有直接的影响。PLC 初学者对程序设计经常感到困惑，无从下手。然而 PLC 程序设计也有一定的规律可循，对于一些特定的功能通常都有相对固定的设计方法。常用的程序设计方法有经验设计法、逻辑设计法、时序图设计法、移植设计法和顺序功能图设计法等。在程序设计过程中究竟用哪种方法并无定论。事实上，对于一个一般规模的控制系统来说往往

是多种设计方法的融会贯通。只有在熟悉硬件、掌握基本指令和常用编程方法的基础上多借鉴、多实践、多总结，才能真正掌握 PLC 程序设计技术。

9.3.1 经验设计法

经验设计法是 PLC 控制系统梯形图设计中的一种常用方法。一般用于控制方案简单、I/O 端子数规模不大的控制系统的梯形图设计。

1. 方法原理

经验设计法即在一些基本控制程序或典型控制程序的基础上，根据被控制对象的具体要求，进行选择组合，并多次反复调试和修改梯形图，有时需增加一些辅助触点和中间编程环节，才能达到控制要求。这种方法没有规律可遵循，设计所用的时间和设计质量与设计者的经验有很大的关系，所以称为经验设计法。

2. 设计步骤

用经验设计法设计 PLC 程序时大致可以按下面的步骤进行。

（1）准确分析控制要求，合理地确定控制系统中 I/O 端子，并画出 I/O 端子接线图。分析控制系统的任务要求，确定输入/输出设备，在尽量减少 PLC 的 I/O 端子情况下，分配控制系统中 I/O 端子，选择 PLC 类型，画出 I/O 端子接线图。

（2）以输出信号与输入信号控制关系的复杂程度来划分系统，确定各输出信号关键控制点。在明确控制要求基础上，以输出信号与输入信号控制关系的复杂程度，将控制系统划分为简单控制系统和复杂控制系统。对于简单控制系统，输出信号控制要求相对简单，用启—保—停基本控制程序编程方法设计完成相应输出信号的编程。对于较复杂的控制系统，输出信号控制要求相对复杂些，要确定各输出信号的关键控制点，在以空间位置为主的控制中，关键点为引起输出信号状态改变的位置点；在以时间为主的控制中，关键点为引起输出信号状态改变的时间点；有时还要借助辅助继电器来编程。

（3）设计各输出信号的梯形图控制程序。确定了各输出信号关键控制点后，用启—保—停基本控制程序及其他基本控制程序的编程方法，首先设计关键输出控制信号的梯形图，然后根据控制要求，设计出其他输出信号的梯形图。

（4）检查修改和完善程序。在各输出信号的梯形图基础上，按梯形图编程原则审查各梯形图，更正错误，合并优化梯形图，补充遗漏的控制功能。

3. 设计特点

经验设计法对于一些比较简单的程序设计是比较有效的，可以收到快速、简单的效果。但是，由于这种方法主要是依靠设计人员的经验进行设计，因此对设计人员的要求也就比较高，特别是要求设计者有一定的实践经验，对工业控制系统和工业上常用的各种典型环节比较熟悉。经验设计法没有规律可循，具有很大的试探性和随意性，往往需经多次反复修改和完善才能符合设计要求，加之设计者掌握经验和资料的多样性、局限性和设计方法的不确定性，设计的控制方案不是唯一的，所以设计的结果往往不是很规范，因人而异。

经验设计法一般适合于设计一些简单的梯形图程序或复杂系统的某一局部程序（如手动程序等）。如果用来设计复杂系统梯形图，存在以下问题。

（1）考虑不周、设计麻烦、设计周期长。用经验设计法设计复杂系统的梯形图程序时，要用大量的中间元件来完成记忆、连锁、互锁等功能，由于需要考虑的因素很多，它们往往又交织在一起，分析起来非常困难，并且很容易遗漏一些问题。修改某一局部程序时，很可能会对系统其他部分程序产生意想不到的影响，往往花了很长时间，还得不到一个满意的结果。

（2）梯形图的可读性差、系统维护困难。用经验设计法设计的梯形图是按设计者的经验和习惯的思路进行设计的，因此即使是设计者的同行，要分析这种程序也非常困难，更不用说维修人员了。这给 PLC 系统的维护和改进带来许多困难。

实例 90：PLC 控制送料小车的经验设计

实例说明

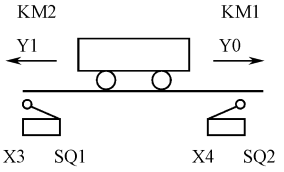


图 9-12　小车自动左右往复运动系统示意图

图 9-12 所示为小车自动左右往复运动系统示意图。小车开始时停在左限位开关 SQ1 处。按下右行启动按钮 SB2，小车右行，到限位开关 SQ2 处时停止运动，10s 后定时器 T10 的定时时间到，小车自动返回起始位置。设计小车左行和右行控制系统。

实例实现

（1）明确控制要求，画出 I/O 端子接线图。根据实例说明可知，其输入信号有 SB1、SB2、SB3、SQ1、SQ2 和热继电器 FR；输出信号有 KM1 和 KM2。考虑到控制系统的可靠性，在 PLC 输出的外部电路 KM1 和 KM2 的线圈前增加其常闭触点作为硬件互锁。PLC 的外部接线图如图 9-13 所示。

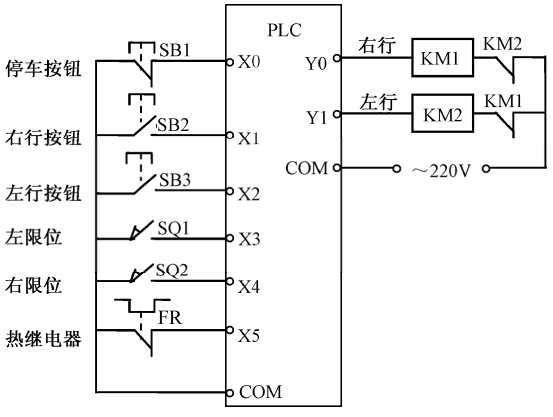
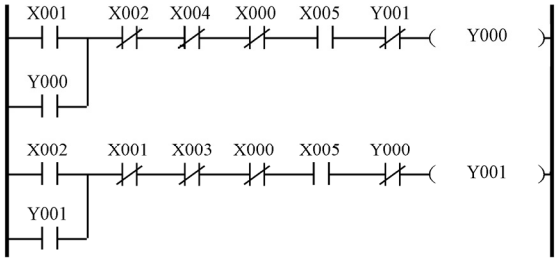


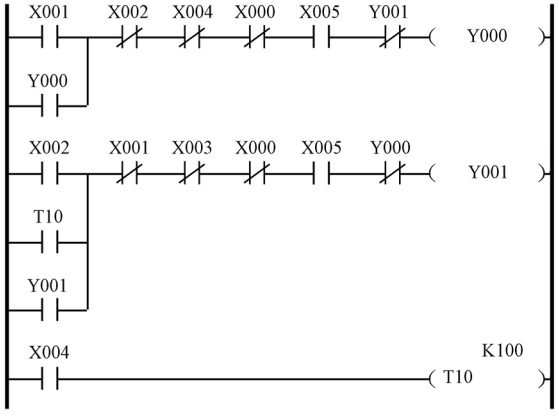
图 9-13　外部接线图

（2）设计梯形图控制程序。输出仅有 KM1 和 KM2 两个继电器，属于简单控制系统。小车的左行和右行控制的实质是电动机的正、反转控制。因此可以在电动机正、反转 PLC 控制设计的基础上，设计出满足要求的梯形图，如图 9-14（a）所示。

（3）检查修改和完善程序。在关键输出信号 Y000 和 Y001 的梯形图基础上，补充遗漏的定时控制功能，优化完善后的梯形图如图 9-14（b）所示。



（a）关键输出信号Y000和Y001的梯形图



（b）完善的控制梯形图

图 9-14　控制梯形图

实例分析

小车的左行和右行控制的实质是电动机的正、反转控制，使用前面介绍的电动机的正、反转控制，结合启—保—停基本控制程序完成梯形图程序设计。在设计程序时，为了使小车向右的运动自动停止，将右限位开关对应的 X004 的常闭触点与控制右行的 Y000 串联。为了在右端使小车暂停 10s，用 X004 的常开触点来控制定时器 T10。T10 的定时时间到，则其常开触点闭合，给控制 Y001 的启—保—停控制（启动、保持、停止、控制）提供启动信号，使 Y001 通电，小车自动返回。小车离开 SQ2 所在的位置后，X004 的常开触点断开，T10 被复位。回到 SQ1 所在位置时，X003 的常闭触点断开，使 Y001 断电，小车停在起始位置。

9.3.2　逻辑设计法

逻辑设计法是以逻辑组合或逻辑时序的方法和形式来设计 PLC 程序的，可分为组合逻辑设计法和时序逻辑设计法两种。

1．组合逻辑设计法

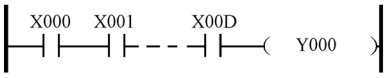
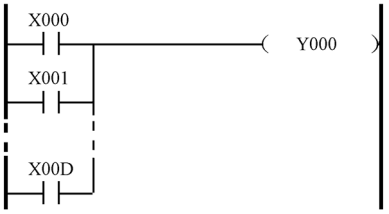
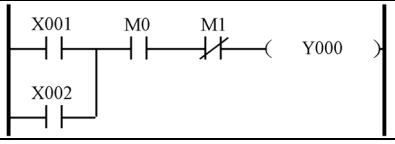
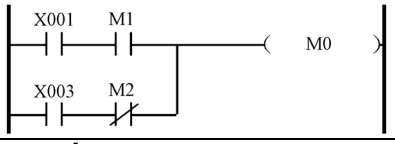
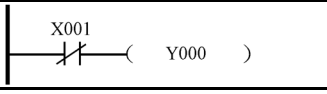
组合逻辑设计法的理论基础是逻辑代数。在 PLC 控制的系统中，各输入/输出状态以

“0”和“1”的形式表示断开和接通，其控制逻辑符合逻辑运算的基本规律，可用逻辑运算的形式表示。逻辑设计法以组合逻辑的方法和形式设计控制系统，因此非常适合于 PLC 控制系统中应用程序的设计。

1）*方法原理*

由于逻辑代数的 3 种基本运算“与”、“或”、“非”都有着非常明确的物理意义，逻辑函数表达式的结构与 PLC 指令表程序完全一样，因此可以直接转化。将 PLC 的控制逻辑按逻辑运算“与”、“或”、“非”的基本运算规律，建立逻辑函数或运算表达式，根据这些逻辑函数和运算表达式设计 PLC 控制梯形图的方法，称为组合逻辑设计法。逻辑函数和运算表达式与 PLC 梯形图、指令语句的对应关系如表 9-2 所示。

表 9-2　逻辑函数和运算表达式与 PLC 梯形图、指令语句的对应关系表

逻辑函数和运算形式	梯　形　图	指 令 语 句
“与”运算 Y000=·X001·X002·…·X00*n*		LD　X001 AND X002 … AND X00n OUT Y001
“或”运算 Y000= X001+X002+…+X00*n*		LD　X001 OR　X002 … OR　X00n OUT Y000
“或”、“与”运算 Y000=（X001+X002）·M0·$\overline{M1}$		LD　X001 OR　X002 AND　M0 ANI　M1 OUT　Y000
“与”、“或”运算 M0= X001·M1+X003·$\overline{M2}$		LD　X001 AND　M1 LD　X003 ANI　M2 ORB OUT　M0
“非”运算 Y000（X001）=$\overline{X001}$		LDI　X001 OUT　Y000

2）*设计步骤*

用组合逻辑设计法对 PLC 组成的控制系统进行设计，一般可以分为下面 5 步。

（1）明确控制系统的任务和控制要求。通过分析工艺过程，明确控制系统的任务和控制要求，绘制工作循环和检测元件分布图，得到各种执行元件功能表，分配 I/O 端子。

（2）绘制 PLC 控制系统状态转换表。通常 PLC 控制系统状态转换表由输出信号状态表、输入信号状态表、状态转换主令表和中间元件状态表四个部分组成。状态转换表全面、完整地展示了 PLC 控制系统各部分、各时刻的状态和状态之间的联系及转换，非常直观，对建立 PLC 控制系统的整体联系、动态变化的概念有很大帮助，是进行 PLC 控制系统分析和设计的有效工具。

（3）建立逻辑函数关系。有了状态转换表，便可建立控制系统的逻辑函数关系，内容

包括列写中间元件的逻辑函数式和列出执行元件（输出端子）的逻辑函数式两个内容。这两个函数式组，既是生产机械或生产过程内部逻辑关系和变化规律的表面形式，又是构成控制系统实现控制目标的具体程序。

（4）编制 PLC 程序。编制 PLC 程序就是将逻辑设计的结果转化为 PLC 的程序。PLC 作为工业控制计算机，逻辑设计的结果（逻辑函数式）能够很方便地过渡到 PLC 程序，特别是指令表形式，其结构和形式都与逻辑函数非常相似，很容易直接由逻辑函数式转化。当然，如果设计者需要由梯形图程序作为一种过渡，或者选用的 PLC 的编程器具有图形输入功能，则也可以首先由逻辑函数式转化为梯形图程序。

（5）程序的完善和补充。程序的完善和补充是逻辑设计法的最后一步，包括手动调整工作方式的设计、手动与自动工作方式的选择、自动工作循环、保护措施等。

3）方法特点

组合逻辑设计法既有严密可循的规律性、明确可行的设计步骤，又具有简便、直观和十分规范的特点。

实例 91：通风系统运行状态监控

实例说明

在一个通风系统中，有 4 台电动机驱动 4 台风机运转。为了保证工作人员的安全，一般要求至少 3 台电动机同时运行。因此用绿、黄、红三色柱状指标灯来对电动机的运动状态进行指示。当 3 台以上电动机同时运行时，绿灯亮，表示系统通风良好；当两台电动机同时运行时，黄灯亮，表示通风状况不佳，需要改善；少于两台电动机运行时，红灯亮起并闪烁，发出警告表示通风太差，需马上排除故障或进行人员疏散。

实例实现

（1）根据控制任务和要求，分配 I/O 地址，设计 PLC 接线图。根据控制系统的任务和要求，用 X0、X1、X2、X3 分别表示 4 台电动机运行状态检测传感器，当电动机运行时有信号输入，停止时无信号输入；用 Y0、Y1 和 Y2 分别表示红、绿、黄三色柱状指标灯指示的通风状况。该系统 PLC 接线图如图 9-15 所示。

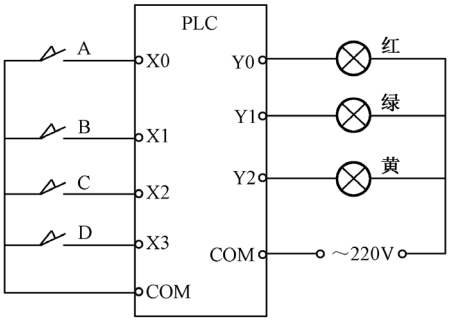


图 9-15　风机状态监视系统 PLC 接线图

（2）绘制 PLC 控制系统状态转换表，建立逻辑函数关系，画出梯形图。用 A、B、C、D 来分别表示 4 台风机的运行状态，分别用 F1、F2、F3 表示红灯、绿灯和黄灯。3 盏灯的状态与系统的 3 种工作状态一一对应，下面分别针对这 3 种工作状态建立逻辑表达式。

① 红灯闪烁。用“0”表示风机停止和指示灯“灭”，用“1”表示风机运行和指示灯“亮”（红灯的闪烁也用“亮”这种状态表示）。红灯闪烁的工作状态表如表 9-3 所示。

表 9-3　红灯闪烁的工作状态表

A	B	C	D	F1
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
0	0	1	0	1
0	0	0	1	1
0	0	0	0	1

由状态表可得 F1 的逻辑函数：

$$F1 = A\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}$$

化简后得

$$F1 = \overline{A}\overline{B}(\overline{C}D + C\overline{D}) + \overline{C}\overline{D}(\overline{A} + \overline{B})$$

根据该逻辑函数画出梯形图，如图 9-16 所示。

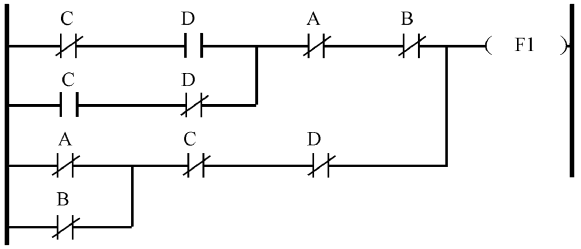


图 9-16　风机状态监视—红灯控制梯形图

② 绿灯亮。其工作状态表如表 9-4 所示。

表 9-4　绿灯亮的工作状态表

A	B	C	D	F2
1	1	1	0	1
1	1	0	1	1
1	0	1	1	1
0	1	1	1	1
1	1	1	1	1

由状态表可得 F2 的逻辑函数：

$$F2 = ABC\overline{D} + AB\overline{C}D + A\overline{B}CD + \overline{A}BCD + ABCD$$

化简后得

$$F2 = AB(C + D) + CD(A + B)$$

根据该逻辑函数画出梯形图，如图 9-17 所示。

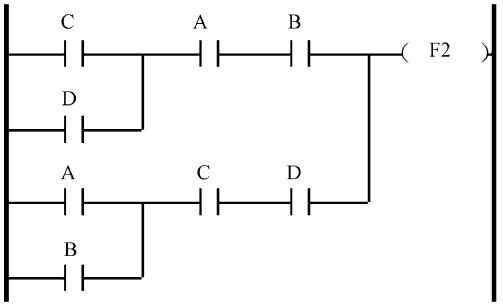


图 9-17　风机状态监视—绿灯控制梯形图

③ 黄灯亮。其工作状态表如表 9-5 所示。

表 9-5　黄灯亮的工作状态表

A	B	C	D	F2
1	1	0	0	1
1	0	1	0	1
1	0	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	0	1	1
0	0	1	1	1

由状态表可得 F3 的逻辑函数：

$$F3 = AB\overline{C}\,\overline{D} + A\overline{B}C\overline{D} + A\overline{B}\,\overline{C}D + \overline{A}BC\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}\,\overline{B}CD$$

化简后得

$$F3 = (\overline{A}B + A\overline{B})(\overline{C}D + C\overline{D}) + AB\overline{C}\,\overline{D} + \overline{A}\,\overline{B}CD$$

根据该逻辑函数画出梯形图，如图 9-18 所示。

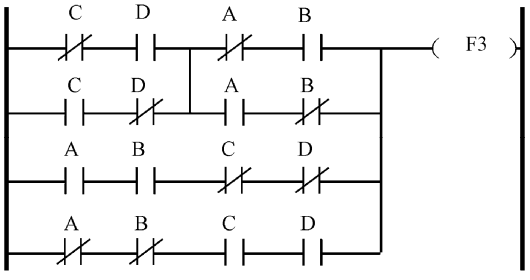


图 9-18　风机状态监视—黄灯控制梯形图

（3）完善梯形图控制程序。将红、绿、黄灯的控制梯形图合并规整，转换成完善的 PLC 梯形图控制程序，如图 9-19 所示。在红灯控制程序中用闪烁控制程序（由定时器 T10 和 T11 构成），用来产生秒脉冲，以实现红灯闪烁。

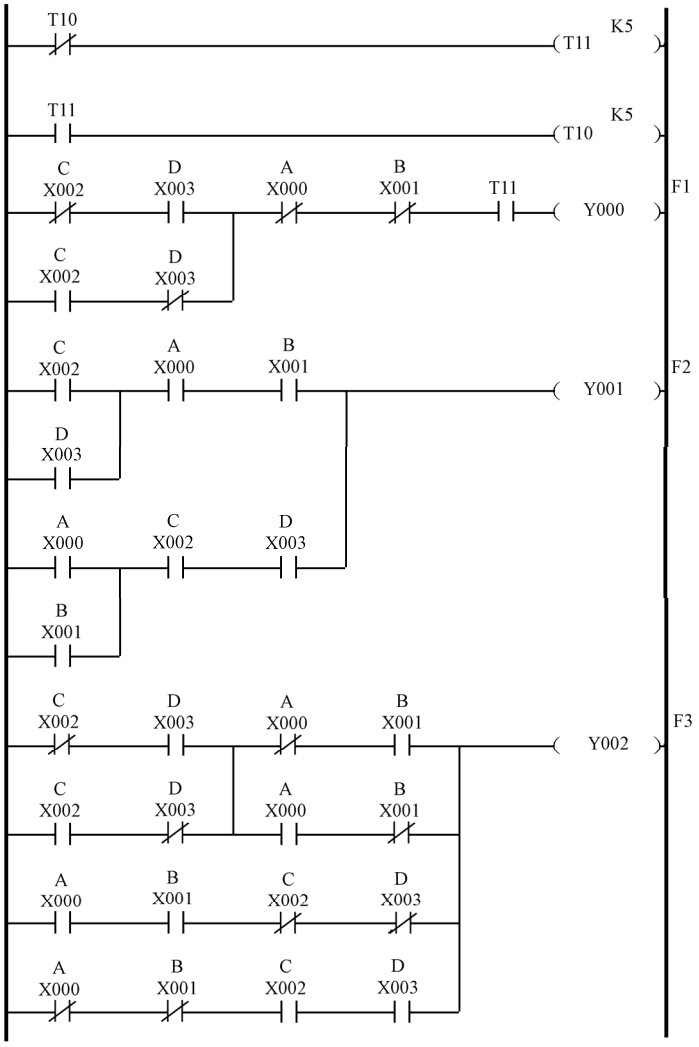


图 9-19　风机状态监视梯形图

各梯形图对应的语句表如下：

```
//闪烁控制程序
LDI     T10
OUT     T11   K5
LD      T11
OUT     T10   K5
//红灯闪烁控制程序
LDI     X002
AND     X003
LD      X002
ANI     X003
ORB
ANI     X000
ANI     X001
```

```
AND     T11
OUT     Y000
//绿灯控制程序
LD      X002
OR      X003
AND     X000
AND     X001
LD      X000
OR      X001
AND     X002
AND     X003
ORB
OUT     Y001
//黄灯控制程序
LDI     X002
AND     X003
LD      X002
ANI     X003
ORB
LDI     X000
AND     X001
LD      X000
ANI     X001
ORB
ANB
LD      X000
AND     X001
ANI     X002
ANI     X003
ORB
LDI     X000
ANI     X001
AND     X002
AND     X003
ORB
OUT     Y002
```



实例分析

在用组合逻辑设计 PLC 控制梯形图时，必须分析清楚控制对象，将控制对象分解成若干小控制单元，这些小控制单元要便于建立工作状态逻辑表，得到逻辑函数表达式，画出控制单元梯形图，这是设计的关键所在。在组合各单元梯形图时，还需要合并重组个别相同逻辑或相反逻辑，根据需要可以使用特殊辅助继电器，简化或优化控制功能。图 9-19 所示梯形图中的 F1 与 F2 逻辑函数梯形图进行了合并，还增加了闪烁控制程序（由定时器 T10 和 T11 构成）。当然，对于控制对象本身已是不可分解的小单元，可以直接建立工作状态逻辑表，得到逻辑函数表达式，画出最终的控制梯形图。

2. 时序逻辑设计法

时序逻辑设计法与组合逻辑设计的思路与过程完全相同，只不过时序逻辑设计法在建立逻辑函数表达式时通过控制时序图得到，而组合逻辑设计法是以工作状态真值表建立逻辑函数表达式。下面以电动机交替运行控制实例介绍其设计过程。

实例 92：电动机交替运行控制

实例说明

有 M1 和 M2 两台电动机，按下启动按钮后，M1 运转 10min，停止 5min，M2 与 M1 相反，即 M1 停止时 M2 运行，M1 运行时 M2 停止，如此循环往复，直至按下停止按钮。

实例实现

（1）根据控制任务和要求，分配 I/O 地址，设计 PLC 接线图。用 X0 和 X1 分别表示两台电动机循环工作的开、关按钮；用 Y0 和 Y1 输出控制 M1 和 M2 电动机周期性交替运行。该电动机控制系统的 I/O 接线图如图 9-20 所示。

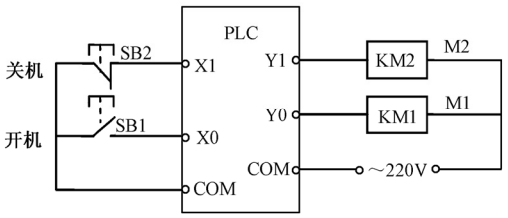


图 9-20　两台电动机交替运行控制接线图

（2）画出两台电动机的工作时序图。由于电动机 M1、M2 周期性交替运行，运行周期 T 为 15min，则考虑采用延时接通定时器 T10（定时设置为 10min）和 T11（定时设置为 15min）控制这两台电动机的运行。当按下开机按钮 X0 后，T10 与 T11 开始计时，同时电动机 M1 开始运行。10min 后 T10 定时时间到，并产生相应动作，使电动机 M1 停止，M2 开始运行。当定时器 T11 到达定时时间 15min 时，T11 产生相应动作，使电动机 M2 停止，M1 开始运行，同时将自身和 T10 复位，程序进入下一个循环。如此往复，直到按下关机按钮，两个电动机停止运行，两个定时器也停止定时。

为了使逻辑关系清晰，用辅助继电器 M0 作为运行控制继电器。根据控制要求画出两台电动机的工作时序图，如图 9-21 所示。

（3）建立逻辑函数关系。由图 9-21 可以看出，t_1、t_2 时刻电动机 M1、M2 的运行状态发生改变，由前面的分析列出电动机运行的逻辑表达式

$$Y000 = M0 \cdot \overline{T10} \qquad Y001 = M0 \cdot T10$$

（4）画出控制梯形图。根据 Y000 和 Y001 的逻辑表达式，结合编程经验，得到图 9-22 所示的梯形图。

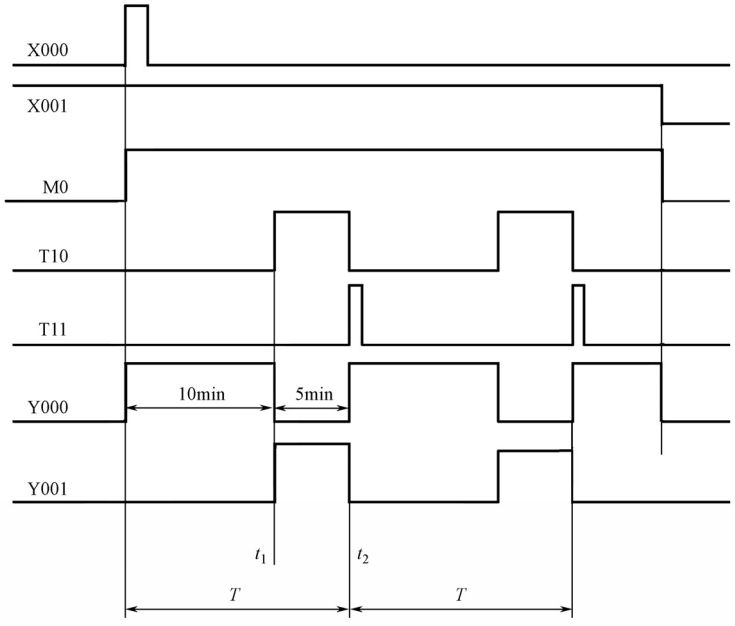


图 9-21　两台电动机交替运行控制时序图

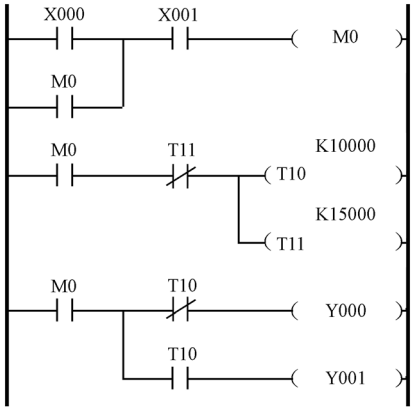


图 9-22　两台电动机交替运行控制梯形图

梯形图对应的指令如下：

```
//两台电动机交替运行控制程序
//启/停控制
LD          X000
OR          M0
AND         X001
OUT         M0
//定时器控制
LD          M0
ANI         T11
OUT         T10, K10000
```

```
OUT     T11, K15000
// 电动机 M1、M2 控制
LD      M0
MPS
ANI     T10
OUT     Y000
MPP
AND     T10
OUT     Y001
```



实例分析

在用时序逻辑设计 PLC 控制梯形图时，必须分析清楚控制对象，将控制对象分解成若干小控制单元，这些小控制单元要便于画出其顺序控制时序图，并便于建立时序逻辑函数表达式，然后设计控制单元梯形图程序，这是设计的关键所在。在组合各单元梯形图时，还需要合并重组个别相同逻辑或相反逻辑，根据需要可以使用特殊辅助继电器，简化或优化控制功能。当然，对于控制对象本身已是不可分解的小单元，可以直接建立工作状态时序图，得到时序逻辑函数表达式，画出最终的控制梯形图。

9.3.3 移植设计法

移植设计法主要是用来对原有机电控制系统进行改造，PLC 控制取代继电器控制已是大势所趋。用 PLC 改造继电器控制系统，根据原有的继电器电路图来设计梯形图显然是一条捷径。这是由于原有的继电器控制系统经过长期的使用和考验，已经被证明能完成系统要求的控制功能，而继电器电路图又与梯形图极为相似，因此可以将继电器电路图经过适当的“翻译”，直接转化为具有相同功能的 PLC 梯形图程序，所以将这种设计方法称为“移植设计法”或“翻译法”。

1．工作原理

继电器电路图是一个纯粹的硬件电路图。将它改为 PLC 控制时，需要用 PLC 的外部接线图和梯形图来等效继电器电路图。可以将 PLC 想象成一个控制箱，其外部接线图描述了这个控制箱的外部接线，梯形图是这个控制箱的内部“线路图”，梯形图中的输入位和输出位是这个控制箱与外部世界联系的“接口继电器”。这样就可以用分析继电器电路图的方法来分析 PLC 控制系统。在分析梯形图时可以将输入位的触点想象成对应的外部输入器件的触点，将输出位的线圈想象成对应的外部负载的线圈。外部负载的线圈除了受梯形图的控制外，还受外部触点的控制。

2．设计步骤

将继电器电路图转换成功能相同的 PLC 的外部接线图和梯形图的步骤如下：

（1）了解和熟悉被控设备的工作原理、工艺过程和机械的动作情况，根据继电器电路图分析和掌握控制系统的工作原理。

（2）确定 PLC 的输入信号和输出负载。继电器电路图中的交流接触器和电磁阀等执行机构如果用 PLC 的输出位来控制，它们的线圈在 PLC 的输出端。按钮、操作开关和行

程开关、接近开关等提供 PLC 的数字量输入信号，继电器电路图中的中间继电器和时间继电器的功能用 PLC 内部的辅助继电器和定时器来完成，它们与 PLC 的输入位、输出位无关。

（3）选择 PLC 的型号，根据系统所需要的功能和规模选择 CPU 模块、电源模块和数字量输入/输出模块，对硬件进行组态，确定输入/输出模块在机架中的安装位置和它们的起始地址。

（4）确定 PLC 各数字量输入信号与输出负载对应的输入端子和输出端子的地址，画出 PLC 的外部接线图。各输入和输出在梯形图中的地址取决于它们的模块的起始地址和模块中的接线端子号。

（5）确定与继电器电路图中的中间继电器、时间继电器对应的梯形图中的辅助继电器和定时器、计数器的地址。

（6）根据上述的对应关系画出梯形图。

3．方法特点

移植设计法没有改变系统的外部特性，对于操作工人来说，除了控制系统的可靠性提高之外，改造前后的系统没有什么区别，他们不用改变长期形成的操作习惯。这种设计方法一般不需要改动控制面板及器件，因此可以减少硬件改造的费用和改造的工作量。

梯形图程序不一定是很优化的控制程序。

实例 93：某卧式镗床继电器控制系统移植设计为 PLC 控制系统

实例说明

某卧式镗床继电器控制系统的电路图如图 9-23 所示，包括主电路、控制电路、照明电路和指示电路。镗床的主轴电动机 M1 是双速异步电动机，中间继电器 KA1 和 KA2 控制主轴电动机的启动和停止，接触器 KM1 和 KM2 控制主轴电动机的正、反转，接触器 KM4、KM5 和时间继电器 KT 控制主轴电动机的变速，接触器 KM3 用来短接串联在定子回路的制动电阻。SQ1、SQ2 和 SQ3、SQ4 是变速操纵盘上的限位开关，SQ5 和 SQ6 是主轴进刀与工作台移动互锁限位开关，SQ7 和 SQ8 是镗头架和工作台的正、反向快速移动开关。

实例实现

（1）选择 PLC，确定 I/O 端子并画出 I/O 接线图。根据卧式镗床的继电器控制电路原理可知，需要 11 个输入端子和 8 个输出端子。因此，选用三菱 FX_{2N}—32MR，它共有 16 个输入点和 16 个输出点，采用继电器输出型。改造后的 PLC 控制系统的外部接线图中，主电路、照明电路和指示电路保持原电路不变，控制电路的功能由 PLC 实现，热继电器触点直接与 PLC 输出端子电源相连，不占用 I/O 端子。PLC 的 I/O 地址分配如表 9-6 所示，I/O 接线图如图 9-24 所示。

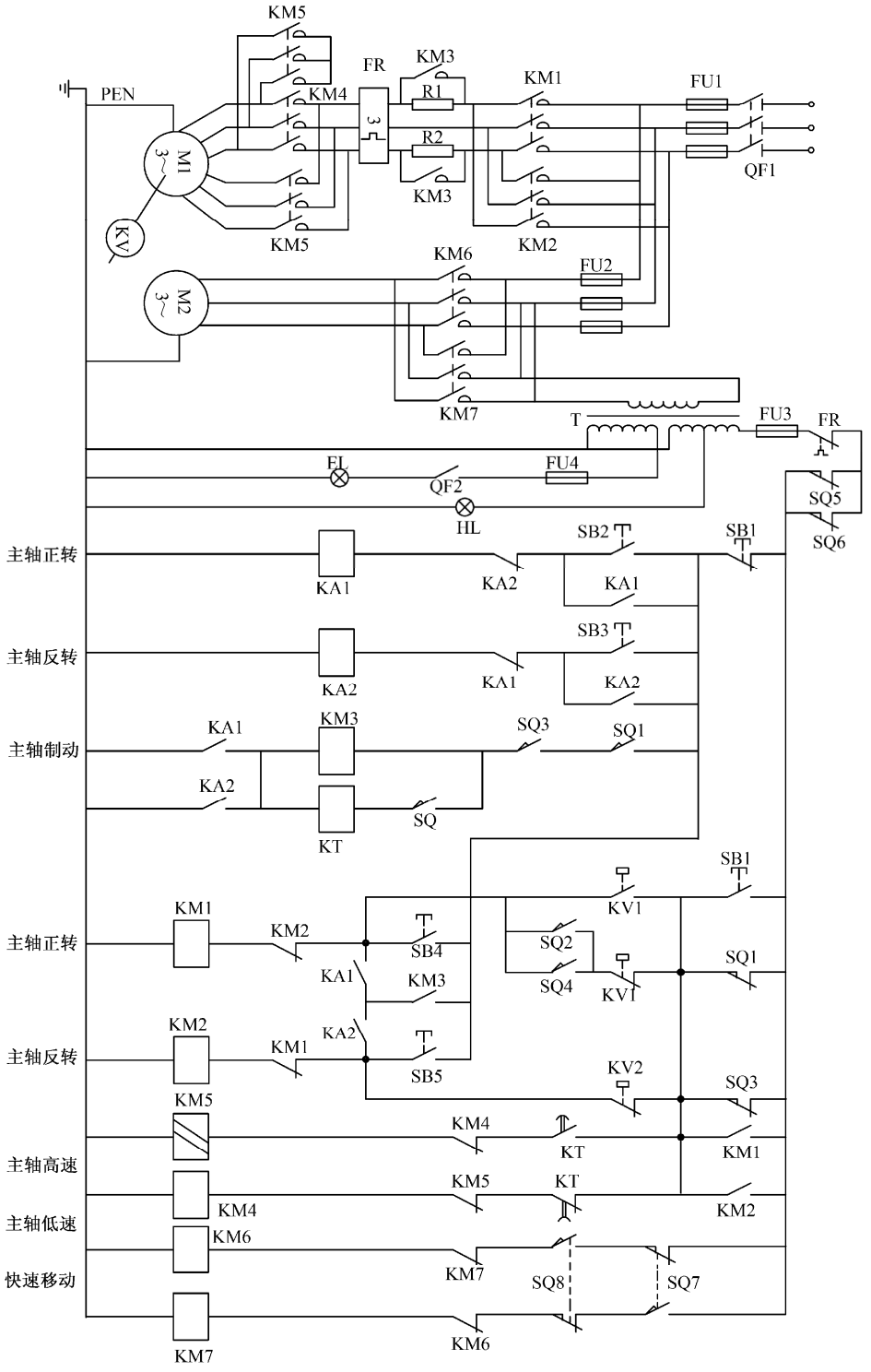


图 9-23　卧式镗床继电器控制的电路图

表 9-6　卧式镗床控制 PLC 的 I/O 端子分配表

输入端子			输出端子		
名　称	代　号	端子编号	名　称	代　号	端子编号
主轴电动机 M3 正转启动按钮	SB2	X0	主轴正转继电器	KM1	Y0
主轴电动机 M3 反转启动按钮	SB3	X1	主轴反转继电器	KM2	Y1
主轴电动机 M3 正转点动按钮	SB4	X2	主轴低速继电器	KM4	Y2
主轴电动机 M3 反转点动按钮	SB5	X3	主轴高速继电器	KM5	Y3
主轴电动机 M3 停止按钮	SB1	X4	主轴制动继电器	KM3	Y4
速度继电器	KV	X5	进给轴快移正转继电器	KM6	Y5
速度变换行程开关	SQ2、SQ4	X6	进给轴快移反转继电器	KM7	Y6
主轴速度变换行程开关 SQ1、进给速度变换行程开关 SQ3	SQ1、SQ3	X7			
高速接通开关	SQ	X10			
进给轴快速正转开关	SQ7	X11			
进给轴快速反转开关	SQ8	X12			

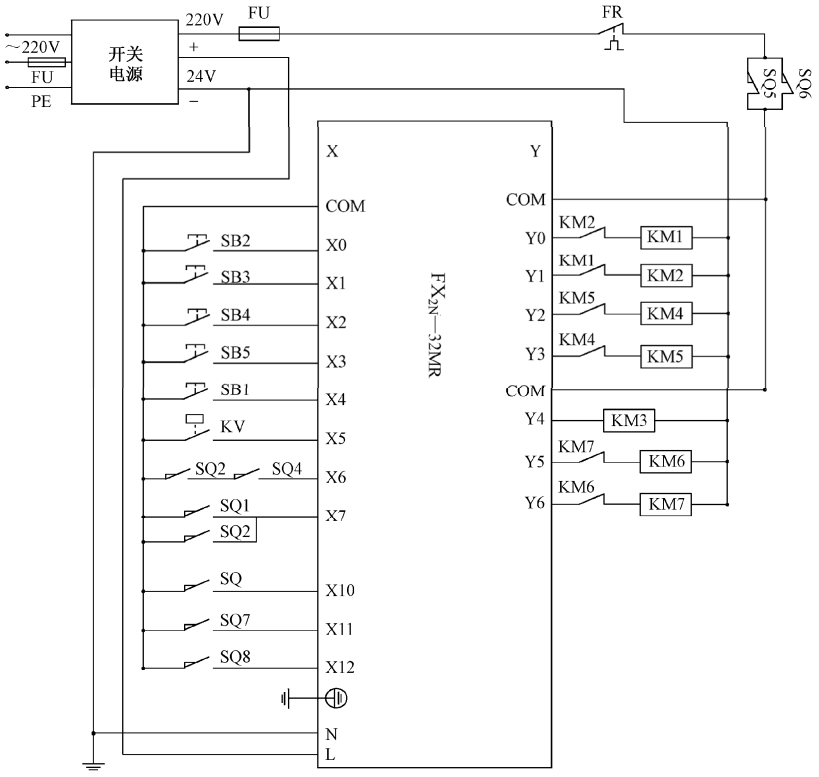


图 9-24　卧式镗床 PLC 控制系统 I/O 接线图

（2）PLC 控制程序。根据 PLC 的 I/O 对应关系，再加上原控制电路（图 9-23）中 KA1、KA2 和 KT 分别与 PLC 内部的 M0、M1 和 T10 相对应，可设计出 PLC 的梯形图，如图 9-25 所示。

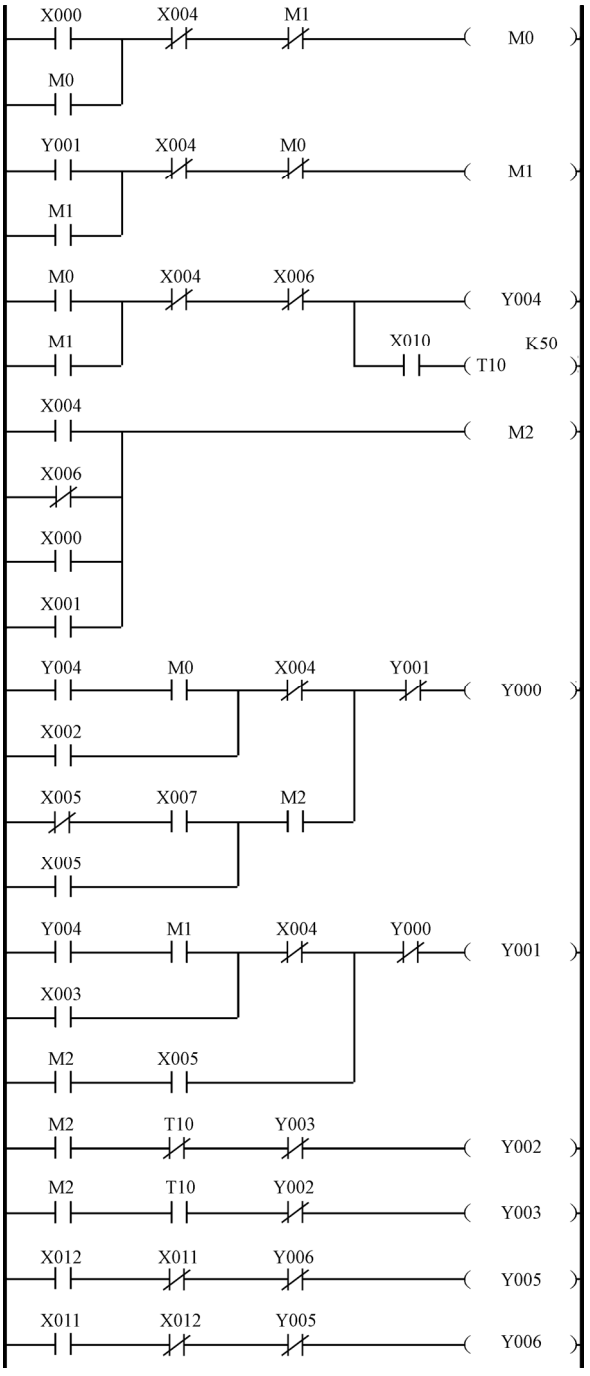


图 9-25　卧式镗床 PLC 控制系统的梯形图

梯形图对应的语句表如下：

```
//卧式镗床控制程序
//主轴正转启动
LD      X000
OR      M0.0
ANI     X004
```

```
ANI     M1
OUT     M0
//主轴反转启动
LD      Y001
OR      M1
AN      X004
AN      M0
OUT     M1
//主轴制动
LD      M0
OR      M1
ANI     X004
ANI     X006
OUT     Y004
AND     X010
OUT     T10   K50

LD      X004
ORI     X006
OR      X000
OR      X001
OUT     M2
//主轴正转
LD      Y004
AND     M0
OR      X002
ANI     X004
LDI     X005
AND     X007
OR      X005
AND     M2
ORB
ANI     Y001
OUT     Y000
//主轴反转
LD      Y004
AND     M1
OR      X003
ANI     X004
LD      M2
AND     X005
ORB
ANI     Y000
OUT     Y001
//主轴低速
```

```
LD      M2
ANI     T10
ANI     Y003
OUT     Y002
//主轴高速
LD      M2
AND     T10
ANI     Y002
OUT     Y003
//快速正转
LD      X012
ANI     X011
ANI     Y006
OUT     Y005
//快速反转
LD      X011
ANI     X012
ANI     Y005
OUT     Y006
```



实例分析

设计过程中应注意梯形图与继电器电路图的区别。梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序，PLC 梯形图是串行工作的，而在继电器电路图中，各电器可以同时动作（并行工作）。

根据继电器电路图设计 PLC 的外部接线图和梯形图时应注意以下问题。

（1）应遵守梯形图语言中的语法规定。由于工作原理不同，梯形图不能照搬继电器电路中的某些处理方法。例如，在继电器电路中，触点可以放在线圈的两侧，但是在梯形图中，线圈必须放在电路的最右边。

（2）适当地分离继电器电路图中的某些电路。设计继电器电路图时的一个基本原则是尽量减少图中使用的触点的个数，因为这意味着成本的节约，但是这往往会使某些线圈的控制电路交织在一起。在设计梯形图时首要的问题是设计的思路要清楚，设计出的梯形图容易阅读和理解，并不是特别在意是否多用几个触点，因为这不会增加硬件的成本，只是在输入程序时需要多花一点时间。

（3）尽量减少 PLC 的 I/O 端子。PLC 的价格与 I/O 端子数有关，因此减少输入/输出信号的点数是降低硬件费用的主要措施。在 PLC 的外部输入电路中，各输入端可以接常开触点或常闭触点，也可以接触点组成的串、并联电路。热继电器的触点既可以作为 PLC 的输入，也可以接在 PLC 外部电路中，主要看 PLC 的输入端子数。例如，在图 9-24 中，FR 接在外部电路中而不占输入端子，SQ5、SQ6 行程开关接触点组成串、并联电路而不占输入端子，PLC 不能识别外部电路的结构和触点类型，只能识别外部电路的通断。

（4）代换时间继电器。物理时间继电器有通电延时型和断电延时型两种。通电延时型时间继电器的延时动作的触点有通电延时闭合和通电延时断开两种。断电延时型时间继电器

的延时动作的触点有断电延时闭合和断电延时断开两种。在用 PLC 控制时，时间继电器可以用 PLC 的定时器或计数器，或者两者的组合来代替。

（5）设置中间单元。在梯形图中，若多个线圈都受某一触点串、并联电路的控制，为了简化电路，在梯形图中可以设置中间单元，即用该电路来控制某辅助继电器，在各线圈的控制电路中使用其常开触点。这种中间元件类似于继电器电路中的中间继电器。

（6）设立外部互锁电路。控制异步电动机正、反转的交流接触器如果同时动作，将会造成三相电源短路。为了防止出现这样的事故，应在 PLC 外部设置硬件互锁电路。图 9-23 中的 KM1 与 KM2、KM4 与 KM5、KM6 与 KM7 的线圈不能同时通电，在转换为 PLC 控制时，除了在梯形图中设置与它们对应的输出继电器串联的常闭触点组成的互锁电路外，还要在 PLC 外部电路中设置硬件互锁电路，保证系统可靠运行。

（7）重新确定外部负载的额定电压。PLC 的继电器输出模块和晶闸管输出模块只能驱动电压不高于 AC 220V 的负载，如果原系统的交流接触器的线圈电压为 380V，应将线圈换成 220V 的，也可设置外部中间存储器，同时它们的电流也必须匹配。

9.3.4 顺序功能图设计法

如果一个控制系统可以分解成几个独立的控制动作，并且这些动作必须严格按照一定的先后次序执行才能保证生产过程的正常运行，这样的控制系统称为顺序控制系统，也称为步进控制系统。在工业控制领域中，顺序控制系统的应用很广，尤其在机械行业，几乎无例外地利用顺序控制来实现加工的自动循环。

所谓顺序功能图设计法，就是针对顺序控制系统的一种专门的设计方法。这种设计方法很容易被初学者接受，对于有经验的工程师，也会提高设计的效率，程序的调试、修改和阅读也很方便。PLC 的设计者们为顺序控制系统的程序编制提供了大量通用和专用的编程元件，开发了专门供编制顺序控制程序用的功能表图，使这种先进的设计方法成为当前 PLC 程序设计的主要方法。顺序功能图设计方法已在第 5 章详述，这里不在赘述。

9.4 PLC 控制系统应用设计



在实际开发 PLC 控制程序时，对于控制规模较大的系统，可以根据控制系统各部分所要实现的功能将控制程序分成若干个控制模块，针对每个模块开发出与其对应的子程序，然后再开发出主程序，对各子程序进行调度运行。这样就可以化繁为简，逐个击破。对于每一个模块的程序开发，我们可以在类似实例的基础上进行改造和扩展，这样能大大提高程序开发的效率。下面介绍一些 PLC 应用的典型实例。



实例 94：交通灯控制



实例说明

十字路口交通信号灯示意图如图 9-26 所示。因为东西方向的车流量较小、南北方向的车流量大，所以南北方向的放行时间为 30s，东西方向的放行时间为 20s。当东西（南北）方向的绿灯灭时，该方向的黄灯与南北（东西）方向的红灯一起以 5Hz 的频率闪烁 5s。之

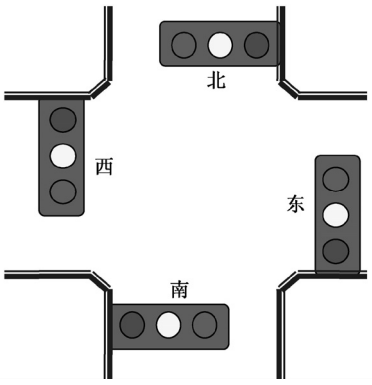


图 9-26　十字路口交通信号灯示意图

后，立即开始另一个方向的放行。当启动开关转向开始位置时，信号灯便以上述模式开始工作，直到启动开关转回到停止位置时，信号灯全部熄灭。

实例实现

在本实例中输入信号只有开关信号一个。各信号灯的亮灭可由 PLC 的输出信号来控制，考虑到东西和南北方向的同色信号灯的亮灭状态分别相同，可将同一个方向上的两盏同色信号灯并联，由一个输出信号来控制。交通信号灯控制系统的 I/O 分配如表 9-7 所示。

表 9-7　交通灯控制系统 I/O 分配表

输　入	输　出					
启动开关	南北绿灯	南北黄灯	南北红灯	东西绿灯	东西黄灯	东西红灯
X0	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5

本实例是典型的时序逻辑控制系统，可以应用时序逻辑法来进行程序编制。首先画出该控制系统各信号的工作时序图，如图 9-27 所示。由时序图可以看出，信号灯是按周期循环工作的，其工作周期 T 为 60s。在一个工作周期中分为 4 个时间区段，各区段的分界点分别是 t_1、t_2、t_3 和 t_4 时刻，在这些时刻信号灯的状态均发生改变。为了找出这些时间点，可以分别用 PLC 中的延时接通定时器 T10、T11、T12、T13，这 4 个定时器均从 t_0 时刻开始定时，它们的定时时间分别为 30s、35s、55s 和 60s。由时序图可以写出各信号灯对应的逻辑表达式：

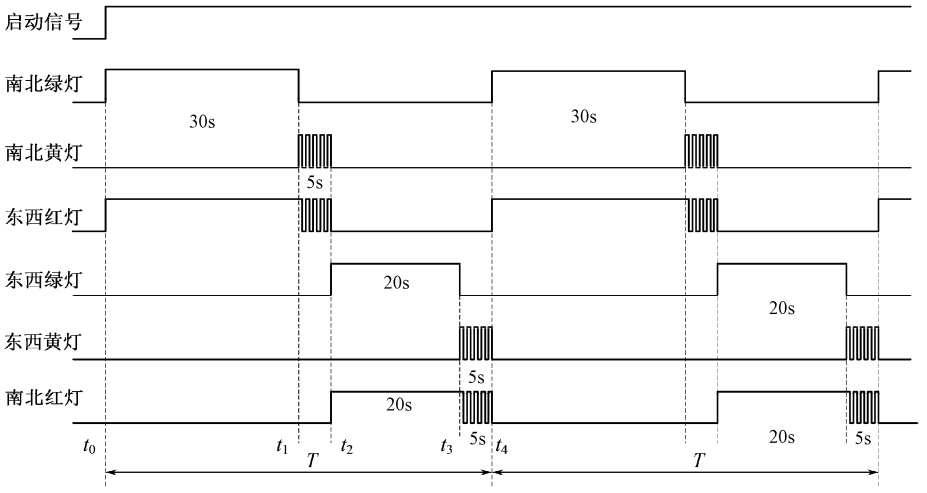


图 9-27　交通信号灯工作时序图

$$Y000 = X000 \cdot \overline{T10}$$
$$Y001 = T10 \cdot \overline{T11}$$
$$Y002 = T11 \cdot \overline{T12} + T12 \cdot \overline{T13}$$

$$Y003 = T11 \cdot \overline{T12}$$
$$Y004 = T12 \cdot \overline{T13}$$
$$Y005 = X000 \cdot \overline{T10} + T10 \cdot \overline{T11}$$

在这里信号灯的闪烁也看做常亮处理，只不过在把这些逻辑表达式转换为梯形图时要加上一个脉冲振荡控制（由定时器 T15、T16 构成），由 T16 实现。4 个定时器的复位条件为启动开关处于停止状态或一个工作周期结束，即 T13 定时结束。交通灯控制程序梯形图如图 9-28 所示。

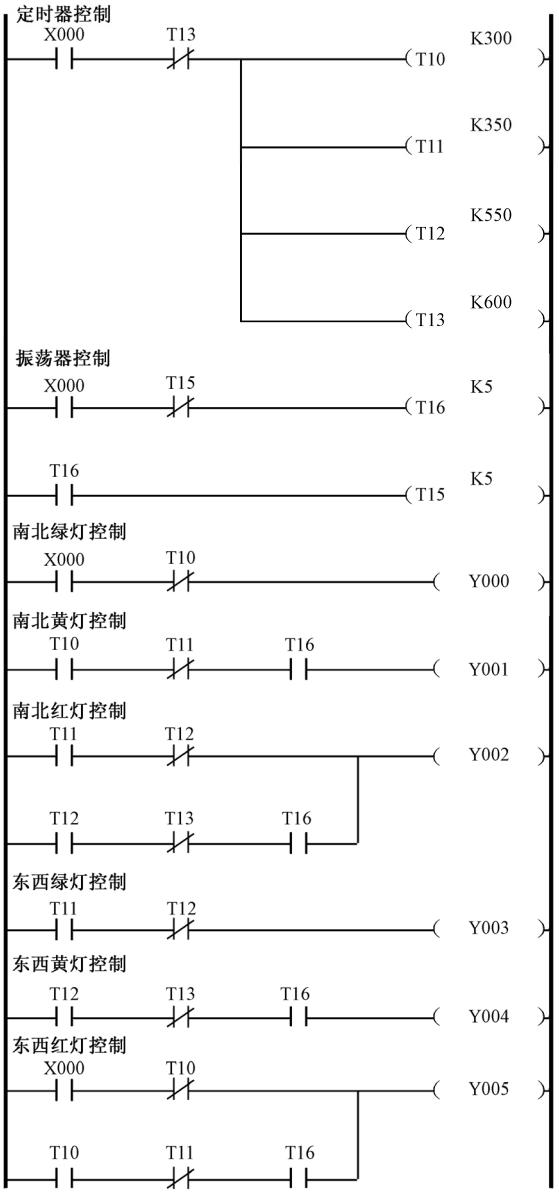


图 9-28　交通灯控制程序梯形图

梯形图对应的语句表如下：

```
//交通灯控制程序
//定时器控制
LD      X000
ANI     T13
OUT     T10   K300
OUT     T11   K350
OUT     T12   K550
OUT     T13   K600
//振荡器控制
LD      X000
ANI     T15
OUT     T16   K5
AND     T16
OUT     T15   K5
// 南北绿灯控制
LD      X000
ANI     T10
OUT     Y000
//南北黄灯控制
LD      T10
ANI     T11
AND     T16
OUT     Y001
//南北红灯控制
LD      T11
ANI     T12
LD      T12
ANI     T13
AND     T16
ORB
OUT     Y002
//东西绿灯控制
LD      T11
AN      T12
OUT     Y003
//东西黄灯控制
LD      T39
ANI     T40
AND     T16
OUT     Y004
//东西红灯控制
LD      X000
ANI     T10
LD      T10
ANI     T12
AND     T16
ORB
OUT     Y005
```

当控制开关 X000 转到启动位置时，4 个定时器均开始定时，此时南北绿灯和东西红灯亮；当定时器 T10 定时时间到时，南北绿灯灭，南北黄灯和东西红灯开始闪烁；当定时器 T11 定时时间到时，南北黄灯和东西红灯均灭，东西绿灯和南北红灯亮；当定时器 T12 定时时间到时，东西绿灯灭，东西黄灯和南北红灯开始闪烁；当定时器 T13 定时时间到，所有的定时器均被复位并重新开始定时，一个新的循环工作周期开始。在此期间，只要控制开关 X000 转回停止位置，所有的定时器被复位，所有的信号灯均熄灭。

实例分析

从本例中可以看出，在获取信号灯状态变化的时间点时，该程序所采用的定时器均同时定时、同时复位。也就是说，在一个工作周期内，各定时器定时时间均是相对于 t_0 时刻的绝对时间。当然也可以用“相对时间”来获得信号灯状态变化时间点，即一个定时器定时结束时启动另一个定时器。两者相比，采用前者能使思路清晰，编程较简单；而后者则使逻辑复杂，编程较困难。有兴趣的读者可以自己编程体会一下。

实例 95：机械手的 PLC 控制

实例说明

通过气动搬运机械手的 PLC 控制系统设计实例详细地说明三菱 FX_{2N} PLC 控制系统设计的主要内容和步骤，从而反映 PLC 控制系统设计的全貌，以利于读者较全面地了解 PLC 控制系统设计的全过程。

1．工作过程与控制要求

1）工作过程

气动搬运机械手的工作过程是将工件从左工作台搬往右工作台，如图 9-29 所示。机械手的动作顺序和检测元件、执行元件的布置示意图如图 9-30 所示。机械手的初始位置停在原点，按下启动按钮后，机械手将依次完成下降—夹紧—上升—右移—再下降—放松—再上升—左移 8 个动作，机械手的下降、上升、右移、左移等动作的转换，是由相应的限位开关来控制的，而夹紧、放松动作的转换是由时间来控制的。机械手所有的动作均由气压驱动。它的上升与下降、左移与右移等动作均由三位五通电磁换向阀控制，即当下降电磁线圈 CY2-0 通电时，机械手下降；下降电磁线圈 CY2-0 断电时，机械手停止下降；只有当上升电磁 CY2-1 通电时，机械手才上升。机械手的夹紧和放松用一个二位五通电磁换向阀来控制，线圈通电时夹紧，线圈断电时放松。

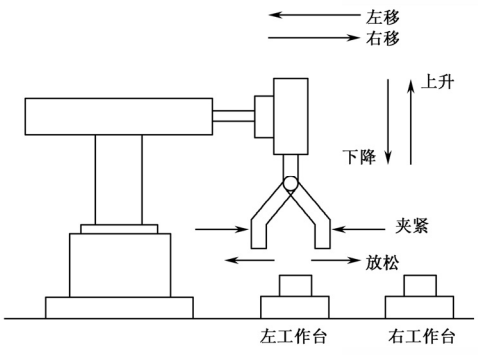


图 9-29　机械手工作时的动作示意图

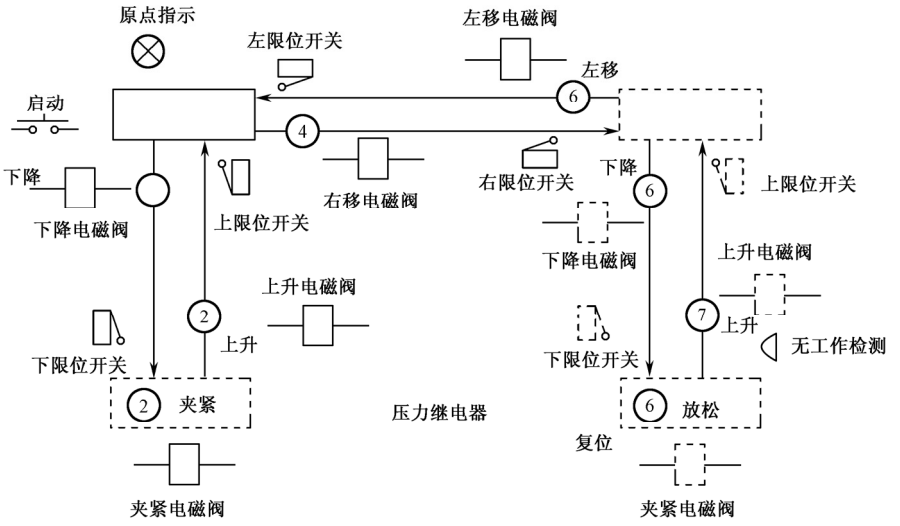


图 9-30　气动搬运机械手的动作顺序和检测元件、执行元件的布置示意图

2）控制要求

（1）手动工作方式。利用按钮对机械手每一动作单独进行控制。例如，按“下降”按钮，机械手下降；按“上升”按钮，机械手上升。用手动操作可以使机械手置于原点（机械手在最左边和最上面，并且夹紧装置松开），还便于维修时机械手的调整。

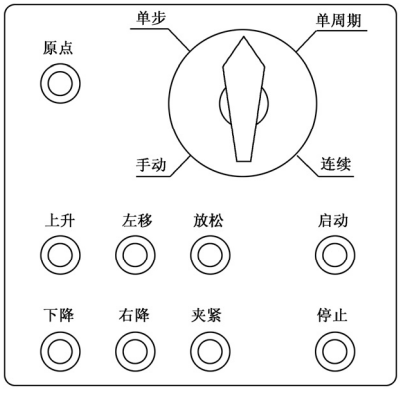


图 9-31　操作台面板布置示意图

（2）单步工作方式。从原点开始，按照自动工作循环的步序，每按一下启动按钮，机械手完成一步的动作后自动停止。

（3）单周期工作方式。按下启动按钮，从原点开始，机械手按工序自动完成一个周期的动作，返回原点后停止。

（4）连续工作方式。按下启动按钮，机械手从原点开始按工序自动反复连续循环工作，直到按下停止按钮，机械手自动停机。或者将工作方式选择开关转换到“单周期”工作方式，此时机械手在完成最后一个周期的工作后，返回原点自动停机。根据以上控制要求，操作台面板布置示意图如图 9-31 所示。

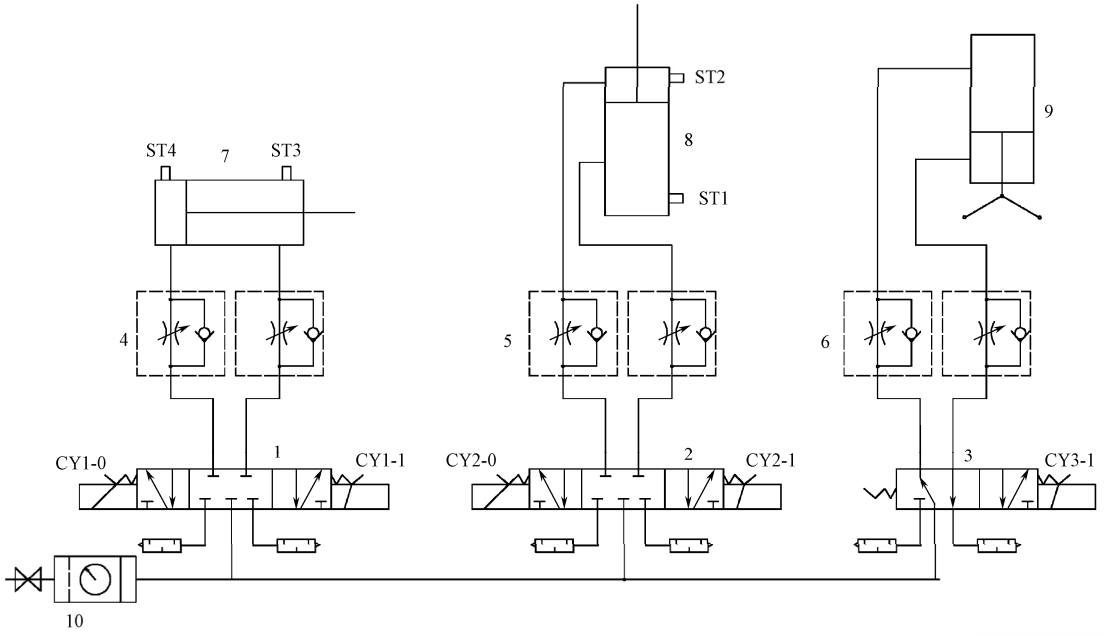
2．气动驱动系统原理

机械手的气动驱动系统是驱动执行机构运动的传动装置，主要实现机械手垂直、水平和手爪的夹紧动作。气动系统工作原理如图 9-32 所示。

1）垂直、水平运动部分

压缩空气经气源调节装置与截止阀 10 后，当电磁换向阀 2 的电磁线圈 CY2-1 通电时，压缩空气经电磁换向阀 2 和节流阀 5 进入垂直汽缸 8 下缸体，机械手上升，垂直汽缸 8 伸出到 ST2 位置，机械手上升停止，当电磁换向阀 2 的电磁线圈 CY2-0 通电时，压缩空气进入

垂直汽缸 8 上缸体，则机械手下降，垂直汽缸 8 缩回到 ST1 位置，机械手下降停止；当电磁换向阀 1 的电磁线圈 CY1-1 通电时，压缩空气经电磁换向阀 1 和节流阀 4 进入水平汽缸 7 右缸体，机械手左移，水平汽缸 7 缩回到 ST4 位置，机械手左移停止，当电磁换向阀 1 的电磁线圈 CY1-0 通电时，压缩空气进入水平汽缸 7 左缸体，机械手右移，水平气缸 7 伸出到 ST3 位置，机械手右移停止。



1、2—三位五通电磁换向阀；3—二位五通电磁换向阀；4、5、6—单向节流阀；7—水平汽缸；8—垂直汽缸；9—夹紧汽缸；10—气源调节装置与截止阀

图 9-32　气动系统工作原理图

2）夹紧、松开运动部分

机械手下降到左工作台后，电磁换向阀 3 的电磁线圈 CY3-1 通电，压缩空气经电磁换向阀 3 和节流阀 6 进入夹紧气缸 9 下缸体，机械手夹紧物体，当机械手按控制要求运动右工作台后，电磁换向阀 3 的电磁线圈 CY3-1 断电，压缩空气经进入夹紧汽缸 9 上缸体，夹紧汽缸 9 松开物体。

实例实现

1．PLC 的选择和 I/O 地址分配

机械手的工作状态和操作的信息需要 18 个输入端子：位置检测信号有下限、上限、右限、左限位共 4 个行程开关，需要 4 个输入端子；“无工件”检测信号采用光电开关作为检测元件，需要 1 个输入端子；“工作方式”选择开关有手动、单步、单周期和连续 4 种工作方式，需要 4 个输入端子；手动操作时，需要有下降、上升、右移、左移、夹紧、放松、回原点 7 个按钮，需要 7 个输入端子；自动工作时，尚需启动按钮、停止按钮，需占

两个输入端子。

控制机械手的输出信号需要 6 个输出端子：机械手的下降、上升、右移、左移和夹紧 5 个电磁阀线圈，需要 5 个输出点；机械手从原点开始工作，需要有 1 个原点指示灯，需用 1 个输出点。

根据控制要求及端子数，此处选用 FX_{2N}—48MR 继电器型 PLC。FX_{2N}—48MR PLC 共有 24 个输入点和 24 个输出点，满足控制所需端子数。其接线图如图 9-33 所示。

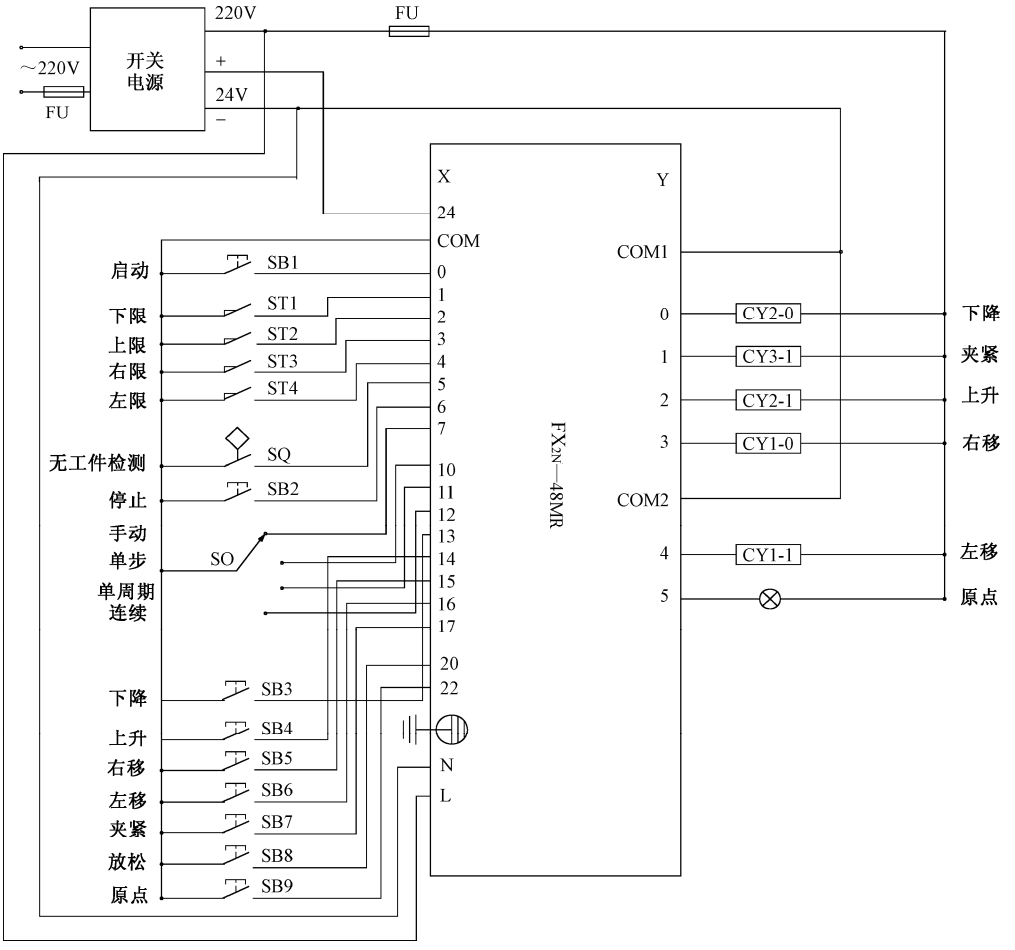


图 9-33　机械手 PLC 控制外部接线图

2．控制程序设计

机械手控制程序较复杂，运用模块化设计思想，采用“化整为零”的方法，将机械手控制程序分为公用程序、手动程序和自动程序，分别编出这些程序段后，再“积零为整”，用条件跳转指令进行选择。该控制程序运行效率高，可读性好。机械手的主控制程序如图 9-34 所示。系统运行时首先执行公用程序，而后当选择手动工作方式（手动，单步）时，X007 或 X010 接通并跳至手动程序执行；当选择自动工作方式（单周期、连续）时，X007、X010 断开，而 X011 或 X012 接通则跳至自动程序执行。工作方式选择转换开

关采取机械互锁保护，因而此程序中手动程序和自动程序可以采用互锁保护，也可以不采用互锁保护。

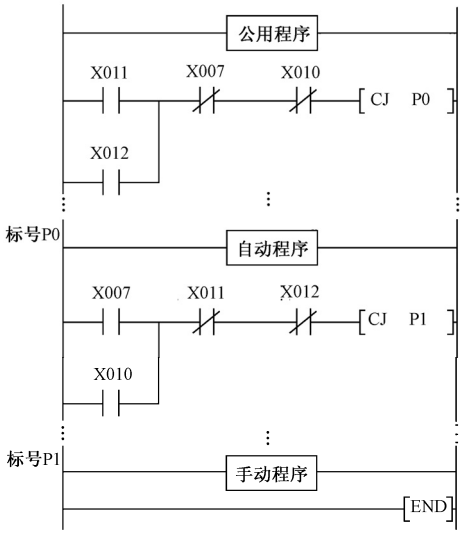


图 9-34　主控制程序

（1）公用程序。公用程序用于处理各种工作方式都要执行的任务，以及不同的工作方式之间相互切换的处理，如图 9-35 所示。左限位开关 X004、上限位开关 X002 的常开触点和表示机械手夹紧的 Y001 的常闭触点的串联电路接通时，“原点条件”M5 变为 ON。当机械手处于原点状态（M5 为 ON），在开始执行用户程序（M8001 为 ON）、系统处于手动状态或自动回原点状态（X007 为 ON）时，初始步对应的 S0 将被置位，为进入单步、单周期和连续工作方式做好准备。如果此时 M5 为 OFF 状态，S0 将被复位，初始步为不活动步，即使按下启动按钮也不能进入步 S20，系统不能在单步、单周期和连续工作方式下工作。

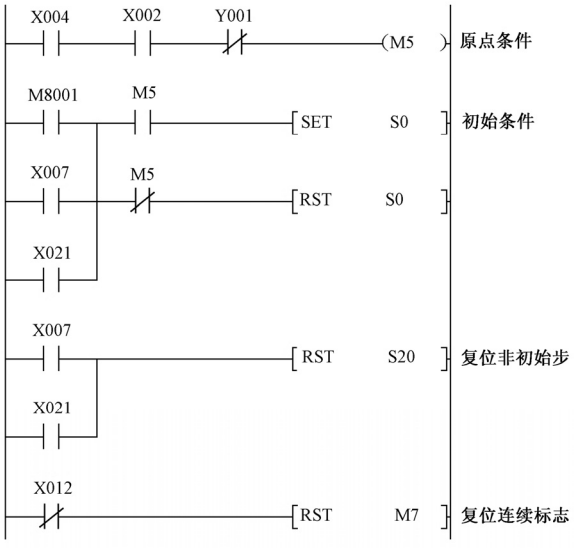


图 9-35　公用程序

（2）手动程序。手动程序包括点动控制和单步控制两部分，手动操作不需要按工序顺序动作，按普通继电器程序来设计。手动操作的梯形图如图 9-36 所示。手动按钮 X007、X013～X021 分别控制下降、上升、右移、左移、夹紧、放松和回原点各个动作。为了保证系统的安全运行设置了一些必要的连锁。其中，在左、右移动的梯形图中加入了 X002 作为上限连锁，因为机械手只有处于上限位置时，才允许左右移动。由于夹紧、放松、动作是用二位五通电磁换向阀的 CY3-1 电磁线圈控制的，因此在梯形图中用“置位”、“复位”指令，使之有保持功能。

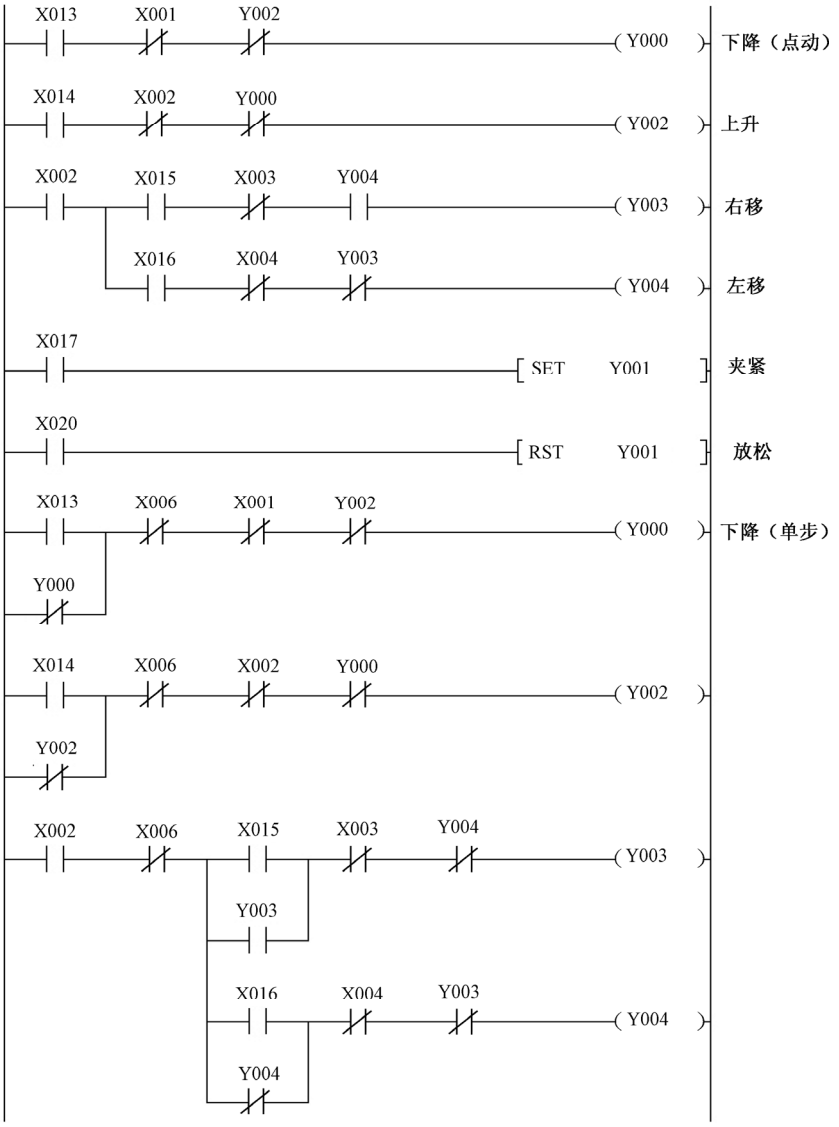


图 9-36　手动操作的梯形图

（3）自动操作流程图。自动操作的动作较复杂，可先画自动操作流程图，如图 9-37 所示，用以表明动作的顺序和转换条件，然后再根据所采用的控制方法设计程序。矩形框表示“工步”，相邻两工步用有向线段连接，表明转换的方向。小横线表示转换的条件。若转

换条件得到满足，则程序从上一工步转到下一工步。

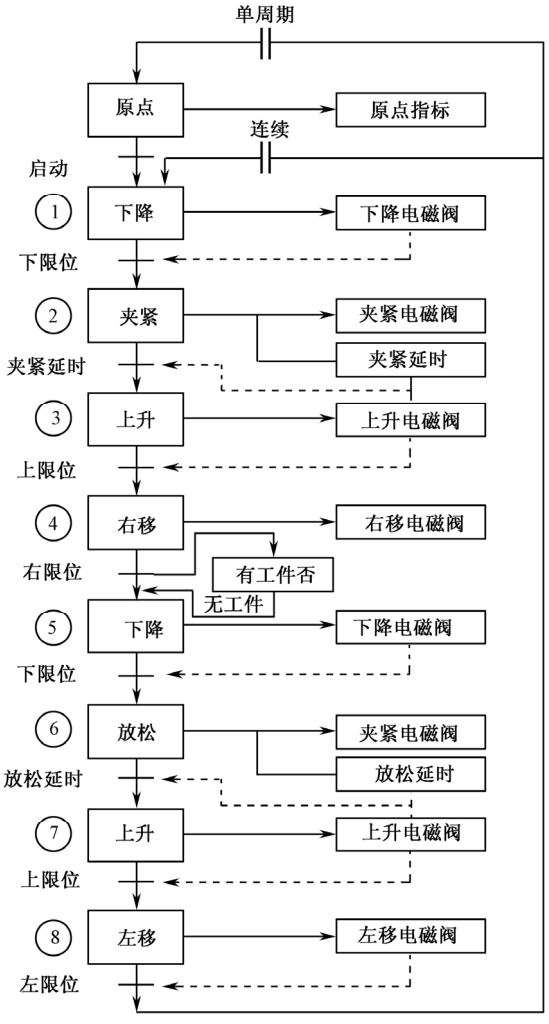


图 9-37　自动操作流程图

（4）自动程序设计。根据自动操作流程图就可以画出自动控制程序的梯形图，如图 9-38 所示。

实例分析

设计气动系统时，电磁线圈 CY 电压和电流应与 PLC 输出端子的电压和电流相一致，这样也可以减少其他不必要的电气硬件。设计机械手控制程序时，由于程序较复杂，采用“化整为零、积零为整”模块化设计思想，将机械手控制程序分为公用程序、手动程序和自动程序三大模块，各程序模块用经验设计法或顺序功能图设计法设计。设计程序时可以各种设计方法混合使用，只要能达到控制程序可读性好、运行效率高的目的就行。该机械手具有性能稳定可靠、控制回路简单适用、操作使用方便的特点。

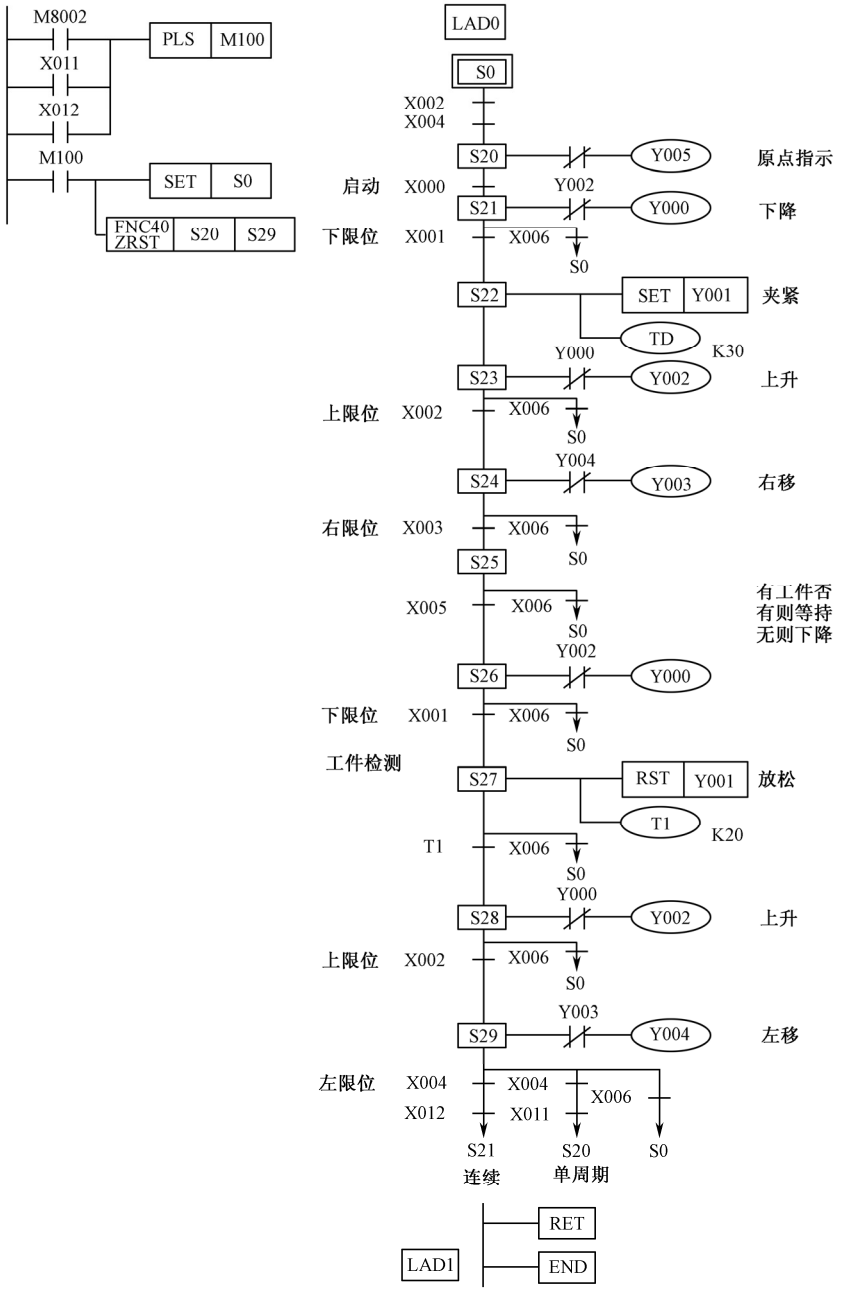


图 9-38　自动控制程序的梯形图

实例 96：某直升机起落架撑杆作动筒检测系统控制

实例说明

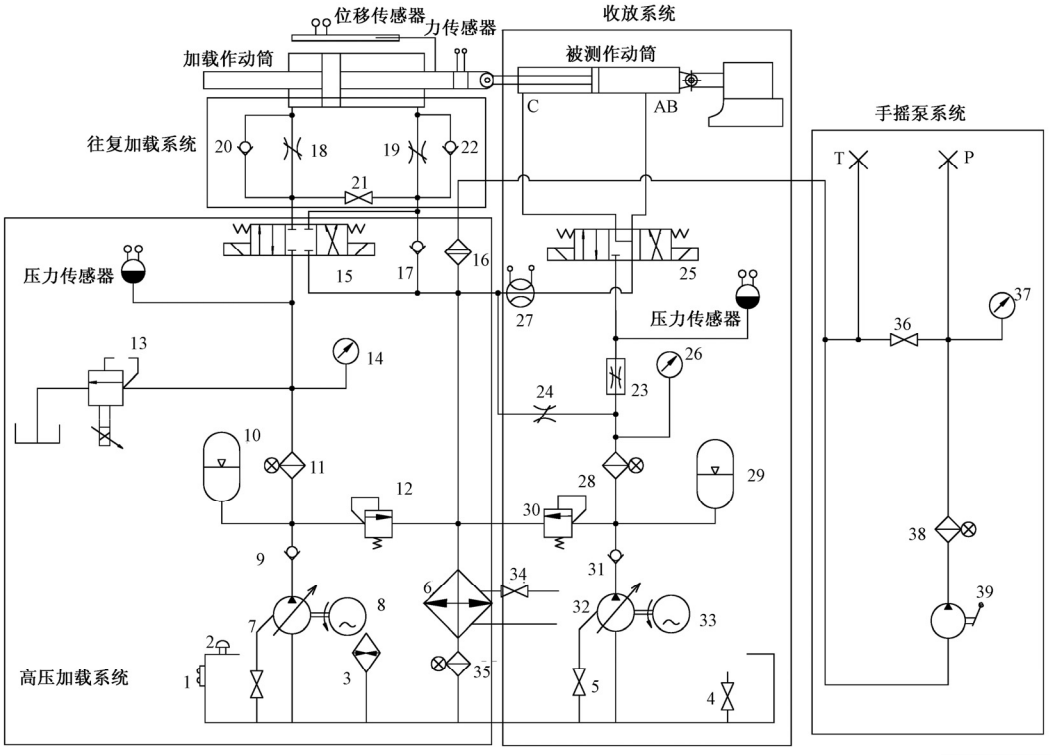
某直升机起落架撑杆作动筒检测系统是用于检测直升机起落架撑杆作动筒的各性能指

标的液压检测系统。检测系统需要完成：①作动筒的密封性实验，供油压力从 0.4～14MPa，流量从 2～10L/min；②开锁上锁实验，校验作动筒在伸长、收起位置的开锁上锁压力和微动开关的状况；③往复运动实验，模拟作动筒实际工作中的状态，在外部反向 2000N 的加载力作用下完成 25 个正常压力往复运动，加载力误差不超过±0.1%；④上锁位置的强度校验，在伸长并上锁和收起并上锁的位置上分别承受 40 000N 的压力和 50 000N 的拉力。

实例实现

1．液压系统工作原理

液压系统原理图如图 9-39 所示，由收放系统、高压加载系统、往复加载系统和手摇泵系统组成，每个系统分别实现不同的测试项目。



1—液位显示；2—带气孔的加油口；3—加热器；4—大小放油开关；5—油泵回油开关；6—冷却器 7—加载液压泵；8—加载电动机；9—加载系统单向阀；10—加载系统蓄能器；11—加载系统精油滤；12—加载系统溢流阀；13—比例溢流阀；14—加载系统压力表；15—加载系统电磁换向阀 2；16—吸油滤；17—单向阀；18、19—节流阀；20—单向阀；21—截止阀；22—单向阀；23—调速阀；24—调压阀；25—收放系统电磁换向阀；26—收放系统压力表；27—流量传感器；28—收放系统精油滤；29—收放系统蓄能器；30—收放系统溢流阀；31—收放系统单向阀；32—收放系统油泵；33—收放系统油泵电动机；34—冷却器开关；35—回油滤；36—手摇系统卸荷开关；37—手摇系统压力表；38—手摇系统精油滤；39—手摇泵

图 9-39　液压系统原理图

收放系统用于给被测作动筒充放油，并完成作动筒的密封试验。收放系统的压力通过一个

调压阀 24 调节系统压力，螺旋开关的通径为 10mm，可以保证最低压力 0.3MPa；调速阀 23 是进行流量调整的，用以控制作动筒运动的速度；两个油嘴 C 和 AB 是用来连接被测作动筒的。

高压加载系统是给被测作动筒施加 40 000N 和 50 000N 的加载力的，用来考验作动筒在两个位置上锁的强度。为了获得一个稳定的加载力，采用一个比例溢流阀 13 来调节系统压力，加载力可以通过一个力传感器测量和显示。

往复加载系统是设计的重点部分，当被测作动筒在收放系统的作用下做往复运动时，加载油缸的活塞杆也随之往复运动，此时加载系统电磁换向阀 15 处于中位，两腔的液压油通过节流阀左右互流，两侧的 2000N 作用力由节流阀 18 和 19 形成的背压来保证。单向阀 20 和 22 用来限制油液流向。往复加载系统与高压加载系统用截止阀 21 来切换回路。分别调节节流阀 18 和 19 的开口度可以调节左、右方向的 2000N 的力，试调后可锁定。单向阀 22 的作用是考虑往复运动中油液损失及时给回路补油。

手摇泵系统进行被测作动筒的开锁和上锁实验，油嘴 T 和 P 连接被测作动筒。

2．测试系统控制

系统设计中存在两个难点：①加载力的跨距大，加载力分别是 2000N、40 000N 和 50 000N，范围 R_{max}（F_{max}/F_{min}）达到 25；②加载精度高，在往复运动中，加载力左右平衡且误差不超过±0.1%，即±20N。因此，控制系统采用交流控制和直流控制两种控制方式，保证系统使用要求。交流控制部分主要用于电动机的启/停，为液压系统提供较大压力的压力油，保证大跨距加载力。直流控制部分采用 24V 直流电，完成测试控制，保证高的加载精度。整个控制系统具有误操作保护和过载安全保护功能。

（1）交流控制部分。电动机和加热器采用 220V 交流电源驱动，电动机和加热器的电气控制部分采用继电器实现。电动机和加热器启停及显示控制均由 PLC 控制。

① PLC 的选择和 I/O 地址分配。交流控制部分主要有收放电动机启/停、加载电动机启/停和加热器启/停控制按钮，即输入端子有 6 个；输出端子有 8 个，输出点有收放电动机、加载电动机和加热器的继电器控制端子，还有它们的按钮指示灯等。因此，选用三菱 FX_{2N}—16MR，它共有 8 个输入端子和 8 个输出端子，属继电器输出型，其 I/O 地址分配如表 9-8 所示。

表 9-8　I/O 地址分配表

输入（6 个端子）				输出（8 个端子）		
说　明	器件名称	地　址　号		说　明	器件名称	地　址　号
收放电动机启动按钮	SB1	X0		收放电动机继电器	KM1	Y0
收放电动机停止按钮	SB2	X1		加载电动机继电器	KM2	Y1
加载电动机启动按钮	SB3	X2		加热器继电器	KM3	Y2
加载电动机停止按钮	SB4	X3		收放电动机启动按钮灯	LED1	Y7
加热器启动按钮	SB5	X4		收放电动机停止按钮灯	LED2	Y6
加热器停止按钮	SB6	X5		加载电动机启动按钮灯	LED3	Y5
				加载电动机停止按钮灯	LED4	Y4
				加热启动按钮指示灯	LED0	Y3

② PLC 与现场器件的安装接线。画出安装接线图是必要的，因为安装接线图有利于整个控制系统的安装接线，便于检修和维护。安装接线图还有利于理清各种逻辑关系，便于设

计梯形图程序。该部分安装接线图如图 9-40 所示，按钮指示灯为 LED 型，需要分别串接一个 2kΩ 的限流电阻。

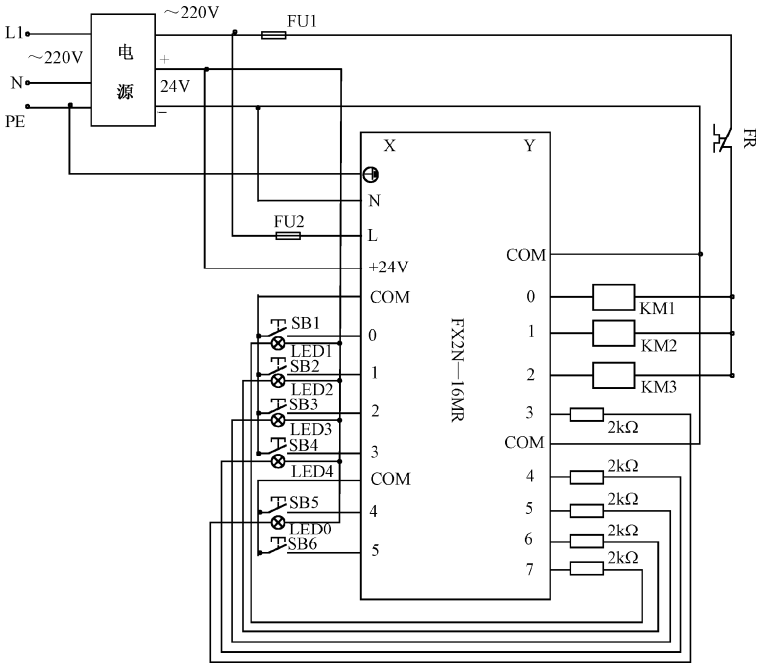


图 9-40　安装接线图

③ 梯形图程序。根据工艺流程，结合 I/O 地址分配表和安装图设计梯形图程序，如图 9-41 所示。

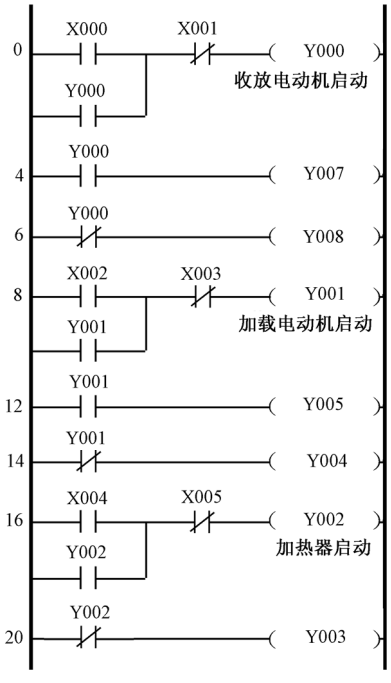


图 9-41　梯形图程序

（2）直流控制部分。直流控制部分采用 24V 直流电，主要对开关、按钮、传感器、指示灯和电磁阀等信号控制，实现各种液压动作（如收起、放下、加压、加拉）及不同测试间的互锁与自锁。

① PLC 的选择与 I/O 地址分配。根据液压系统原理及直流部分控制要求，可得需要 19 个输入端子和 20 个输出端子，I/O 地址分配表如表 9-9 所示。因此，选用 FX_{2N}—48MT，它有 24 个输入端子和 24 个输出端子，采用直流晶体管输出型。

表 9-9　I/O 地址分配表

输入（19 个端子）			输出（20 个端子）		
说　明	器件名称	地址号	说　明	器件名称	地址号
收起动作按钮	SB1	X1	收起动作电磁阀	KM1	Y20
收放停止按钮	SB2	X2	放下动作电磁阀	KM2	Y21
放下动作按钮	SB3	X3	加压动作电磁阀	KM3	Y22
静态选择按钮	SB4	X4	加拉动作电磁阀	KM4	Y23
静动中立按钮	SB5	X5	下位开锁指示灯	L1	Y0
动态选择按钮	SB6	X6	下位上锁指示灯	L2	Y1
压力按钮	SB7	X7	上位开锁指示灯	L3	Y2
压拉停止按钮	SB8	X10	上位上锁指示灯	L4	Y3
拉力按钮	SB9	X11	油滤 1 报警指示灯	L5	Y4
计数器复位按钮	SB11	X0	油滤 2 报警指示灯	L6	Y5
往复启动按钮	SB10	X13	油滤 3 报警指示灯	L7	Y6
往复急停按钮	SB12	X12	油滤 4 报警指示灯	L8	Y7
压差传感器 1 触点	YL11	X14	收起按钮指示灯	L9	Y11
压差传感器 2 触点	YL12	X15	放下按钮指示灯	L10	Y12
压差传感器 3 触点	YL13	X16	静态选择按钮指示灯	L11	Y13
压差传感器 4 触点	YL14	X17	动态选择按钮指示灯	L12	Y14
压力传感器触点	YL15	X20	压力工作指示灯	L13	Y15
上位微动开关	ST1	X21	拉力工作指示灯	L14	Y16
下位微动开关	ST2	X21	往复工作指示灯	L15	Y17
			计数器按钮请求复位信号灯	L16	Y10

② 安装接线图。根据 I/O 地址分配表可以画出 PLC 安装接线图，如图 9-42 所示。各指示灯均采用 LED 灯，需要分别串接一个 2kΩ 的限流电阻 R。

③ 程序流程图。根据控制工艺流程和 I/O 地址编制梯形图程序。该梯形图程序主要使用基本指令实现，由于逻辑关系比较复杂，因此采用“化整为零”，再“积零为整”的设计思路。设计程序时使用了很多的内部继电器 M、定时器 T、计数器 C，关于内部继电器、定时器、计数器的功能说明如表 9-10 所示，梯形图程序如图 9-43 所示。

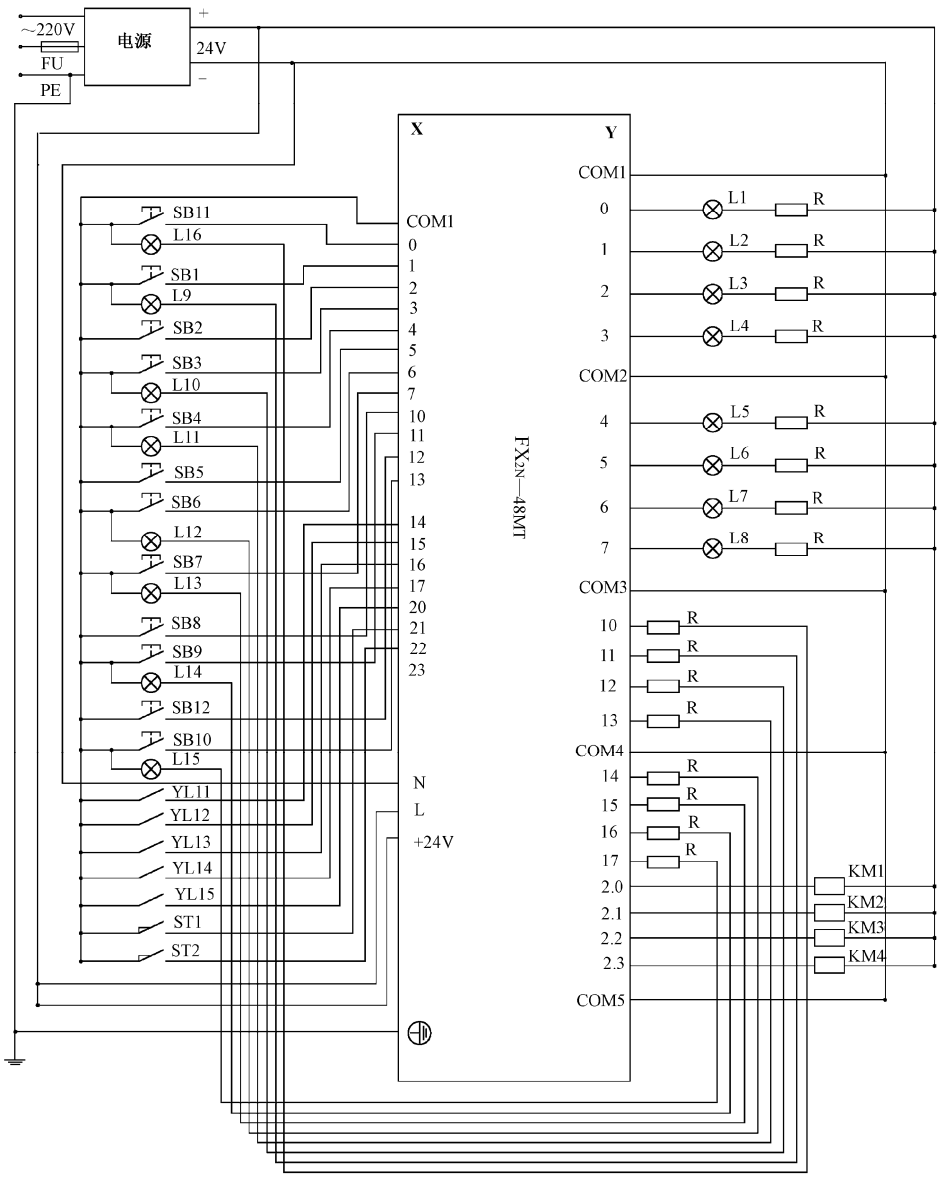


图 9-42　PLC 安装接线图

表 9-10　中间存储器、定时器、计数器功能说明

名　称	功 能 说 明
M0	往复运动计时
M1	实现往复运动中放下动作
M2	实现往复运动中收起动作
M3	使 M12 动作
M4	当压力过大时停止加载，起保险作用
M5	受微动开关控制，实现往复运动中放下动作

续表

名　称	功 能 说 明
M6	受微动开关控制，实现往复运动中收起动作
M7	实现静态往复自锁并接通指示灯
M10	实现动态按钮自锁并接通指示灯
M11	为往复运动做准备
M12	保证动态起始位置
M13	使 M10 延时动作
M14	往复运动延时动作
T39	在往复运动开始前先将 M12 断开，再闭合 M1，以免收起、放下电磁阀同时动作
T38	在保证起始位置的前提下，先断开 M1，再闭合 M10 的触点，防止 Y22 产生自锁
C0	实现往复次数的计数

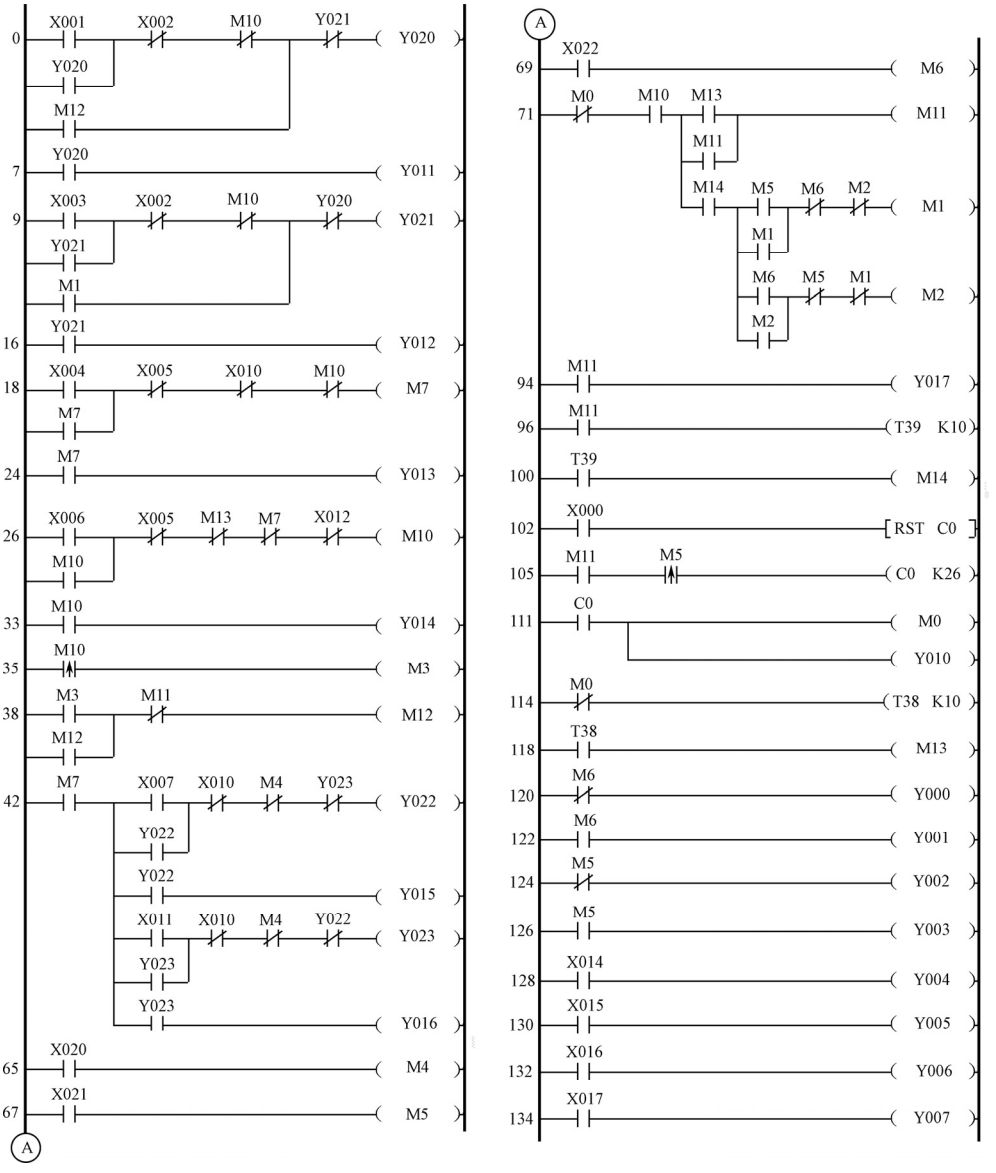


图 9-43　梯形图程序

实例分析

像这种具有大跨距加载力和高加载精度的液压系统，采用 PLC 控制时，从控制硬件成本角度出发，用一个 PLC 控制就能达到控制目的。但从控制系统性能更优的角度出发，采用本实例交、直流分开形式控制更好，交流控制部分主要用于电动机的启/停，保证液压系统大跨距液压加载力；直流控制部分完成测试控制，保证高的加载精度。这点在工程控制中值得借鉴。交、直流控制部分梯形图设计均采用经验设计法。

实例 97：组合机床控制

实例说明

有一台多工位、双动力头组合机床，其工作示意图 9-44 所示，回转工作台 M5 周边均匀地安装了 12 个碰块，通过与 SQ7 的触碰，可实现 30° 分度，其工作流程如下：

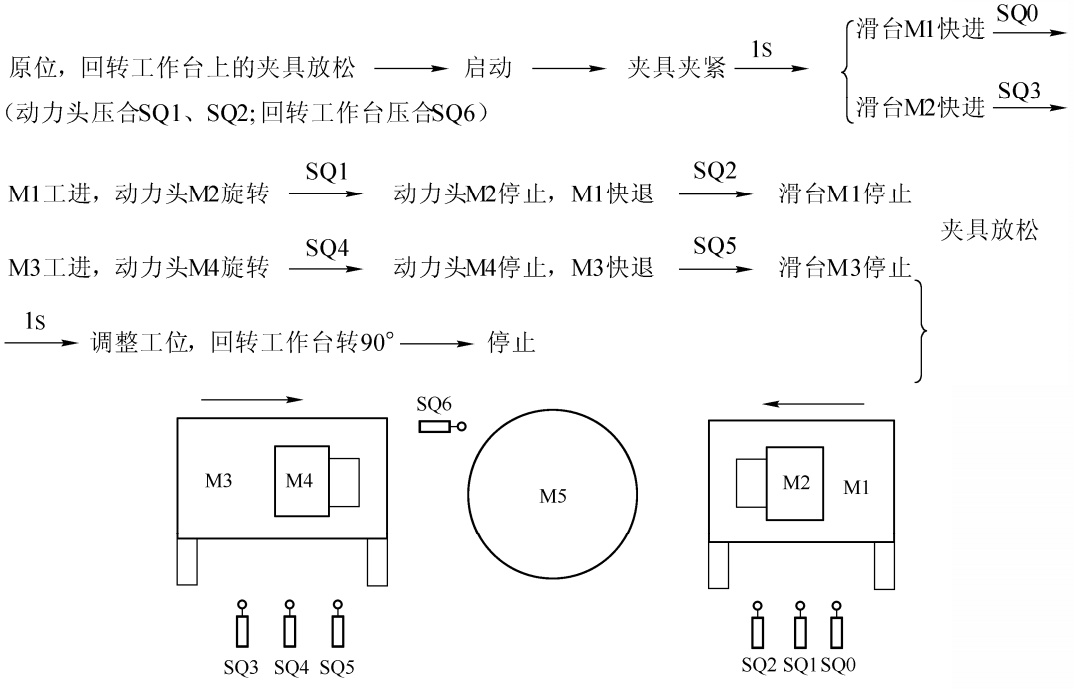


图 9-44　组合机床工作示意图

实例实现

1）I/O 分配表与 PLC 接线图

根据组合机床的功能及结构特点可得其 PLC 控制系统 I/O 地址分配表，如表 9-11 所示。PLC 接线图如图 9-45 所示。

表 9-11　组合机床控制系统 I/O 地址分配表

输 入 端 子	输 入 设 备	输 出 端 子	输 出 设 备
X000	启动按钮 SB	Y000	M1 快进 KM0
X001	行程开关 SQ0	Y001	M1 工进 KM1
X002	行程开关 SQ1	Y002	M1 快退 KM2
X003	行程开关 SQ2	Y003	M2 旋转 KM3
X004	行程开关 SQ3	Y004	M3 快进 KM4
X005	行程开关 SQ4	Y005	M3 工进 KM5
X006	行程开关 SQ5	Y006	M3 快退 KM6
X007	行程开关 SQ6	Y007	M4 旋转 KM7
		Y010	M5 旋转 KM8
		Y011	夹具电磁阀 YV

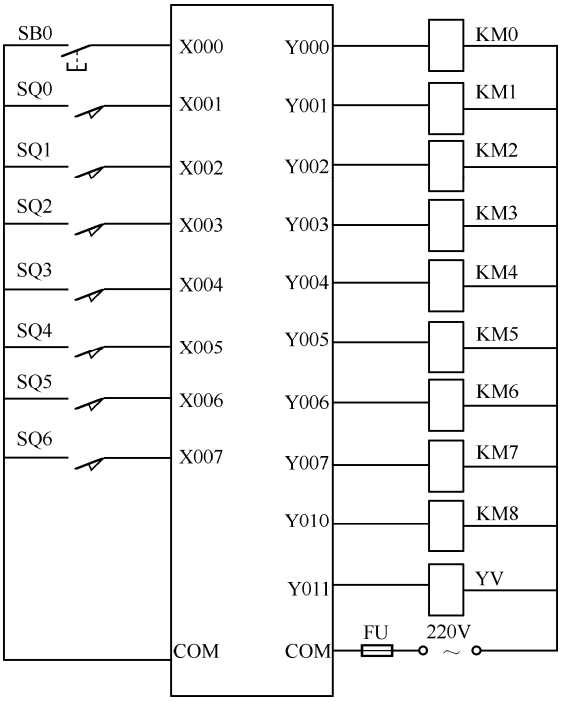


图 9-45　组合机床 PLC 控制系统 I/O 接线图

2）程序设计及说明

由组合机床的工作流程可以看出，其动作严格按工步（序）来执行，可以按有关步序实例的编程方法进行编程。然而，对于复杂的流程的控制要求，如有并行分支且并行分支之间又有交叉的情况，再用基本指令来编程就会困难重重，并且编写出来的程序可读性、可维护性均不好。这时候用顺序功能图进行编程显得轻松快捷，针对该实例我们用顺序功能图进行编程，以使读者能很好地掌握顺序功能图编程方法。

首先根据组合机床的工作流程画出顺序功能图，如图 9-46 所示。根据顺序功能图可直接进行 SFC 功能编程。程序分为起始梯形图块，如图 9-47 所示。另一块是 SFC 主程序块，如图 9-48 所示。利用 GX-Developer 将 SFC 转换成梯形图，如图 9-49 所示。

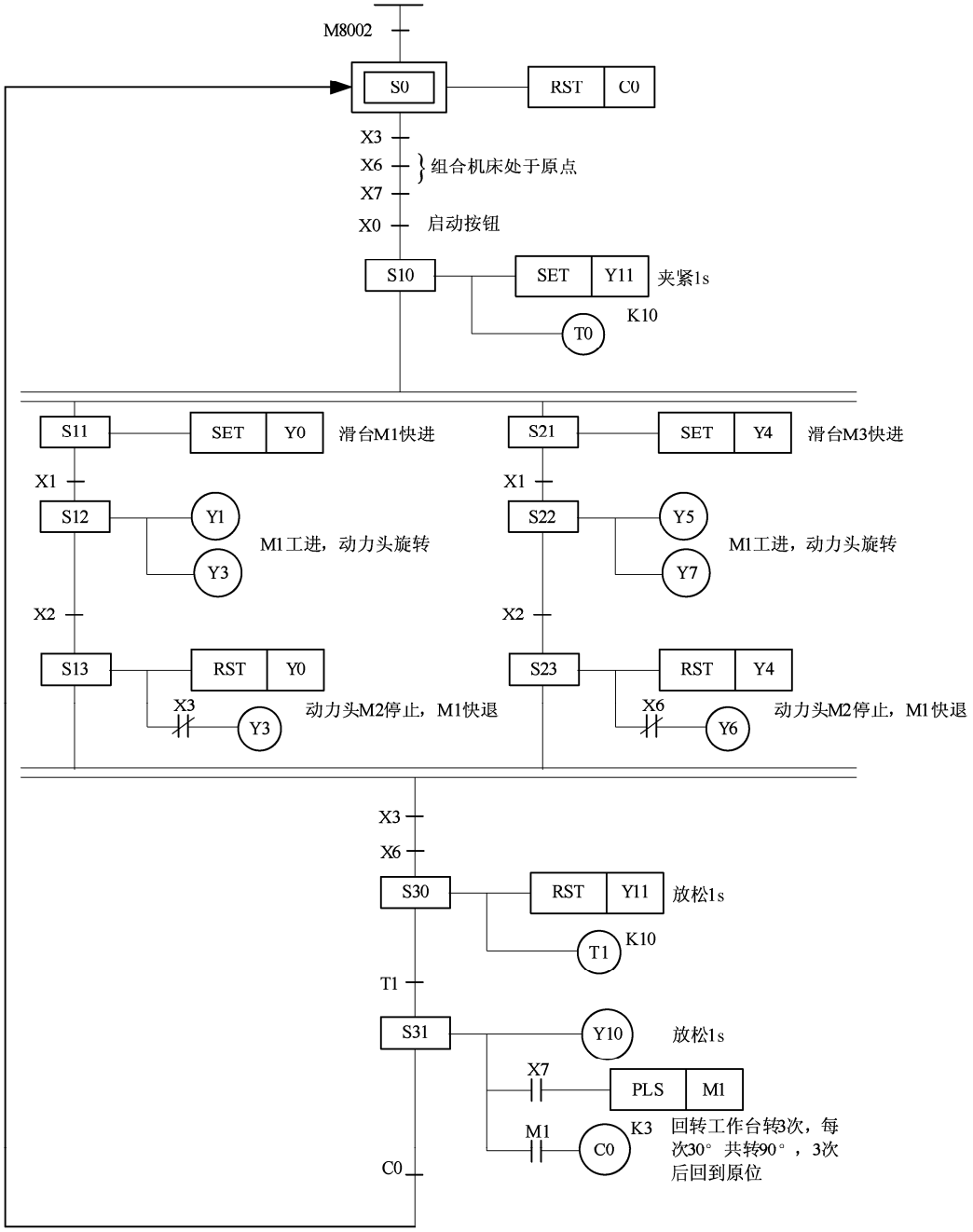


图 9-46　组合机床顺序功能图

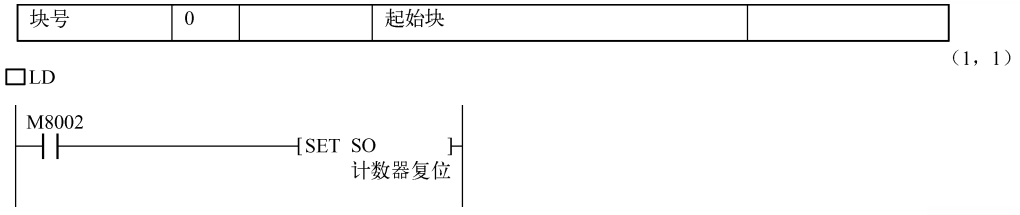


图 9-47　组合机床 PLC 控制系统 SFC 编程起始梯形图块

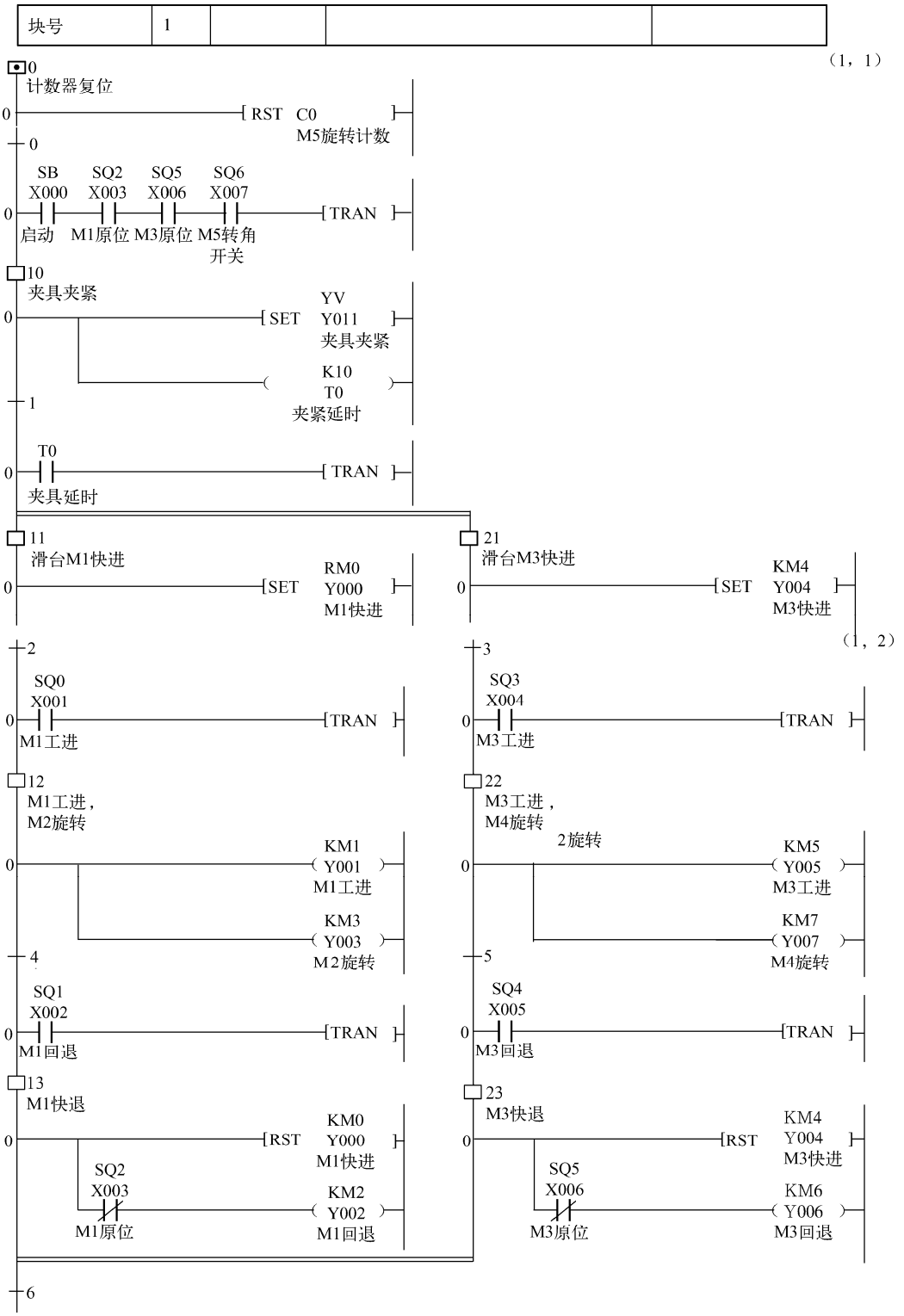
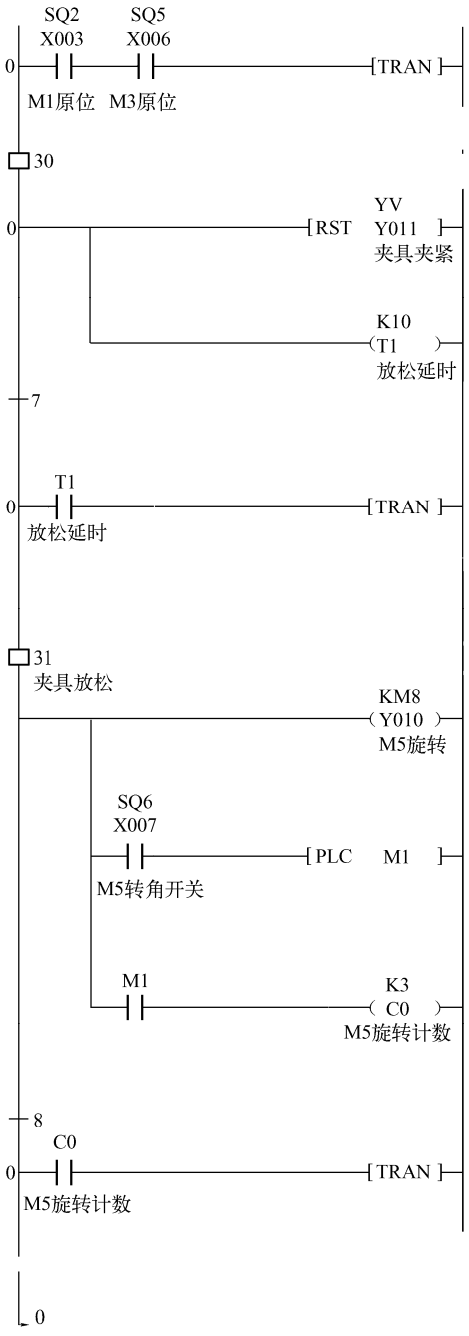


图 9-48　组合机床 PLC 控制系统 SFC 编程主程序块



（1，4）

图 9-48　组合机床 PLC 控制系统 SFC 编程主程序块（续）

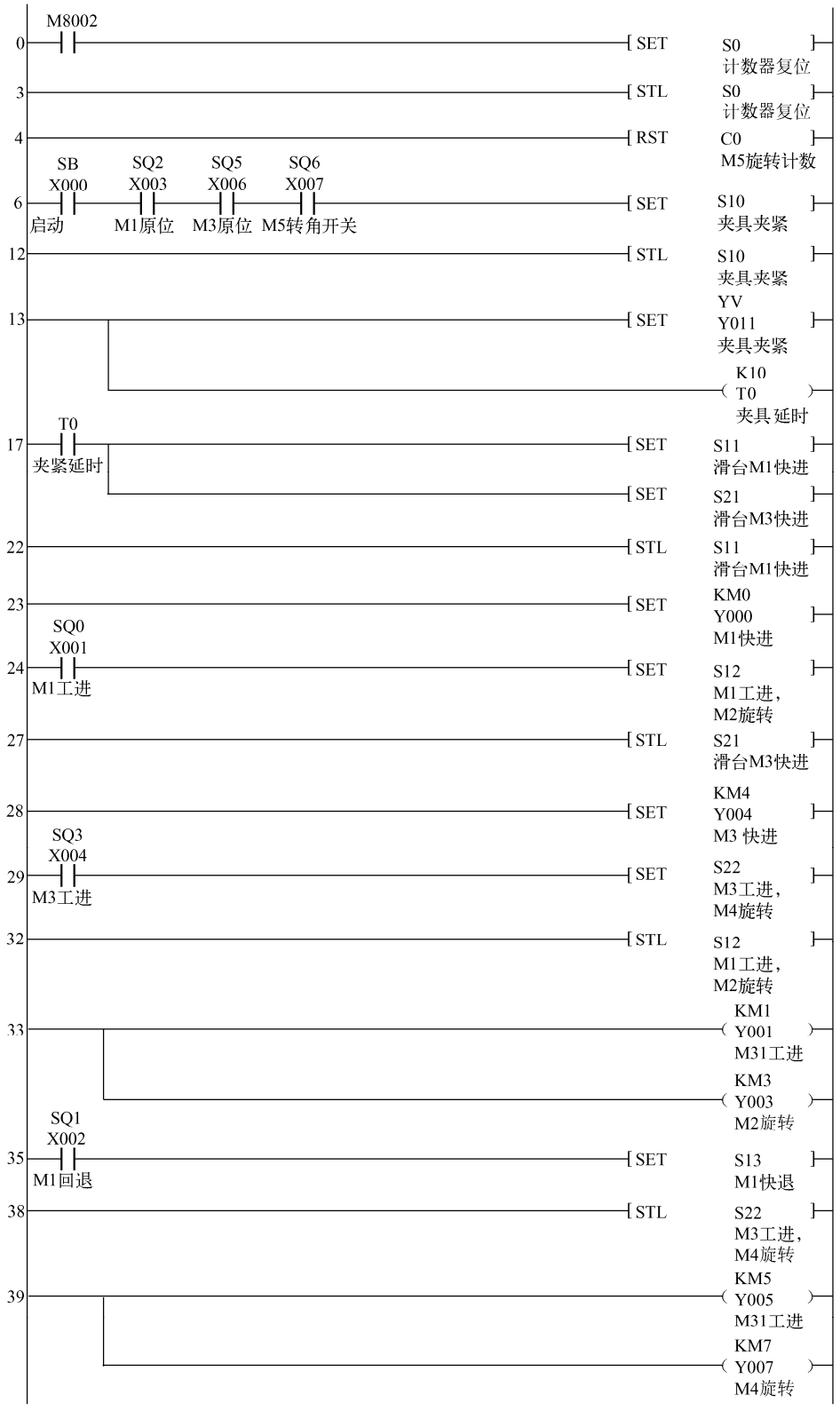


图 9-49　组合机床 PLC 控制系统梯形图程序

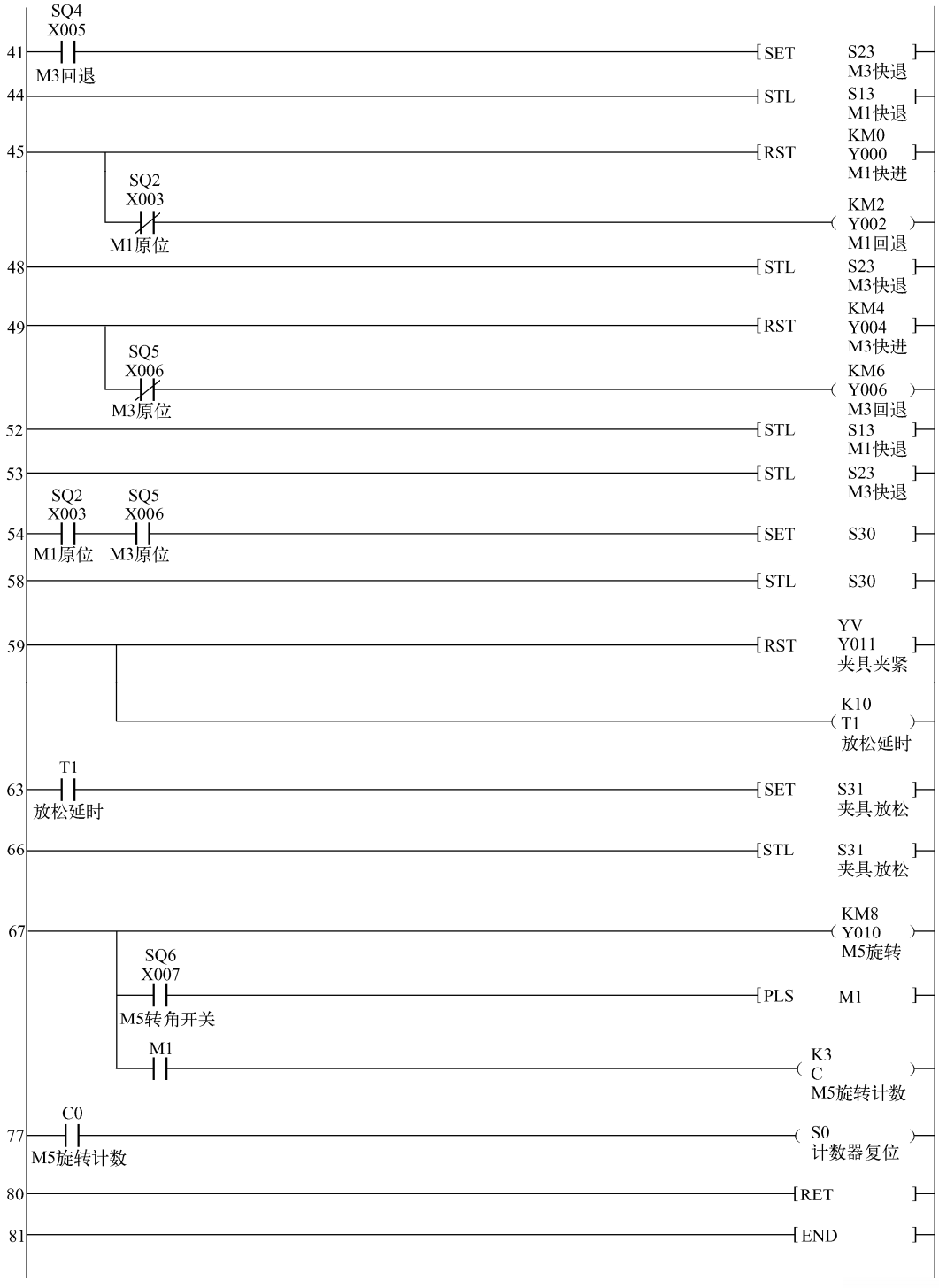


图 9-49　组合机床 PLC 控制系统梯形图程序（续）

利用 GX-Developer 将 SFC 转换成指令表如下：

```
0 LD M8002
1 SET S0
S0 = 计数器复位
3 STL S0
S0 = 计数器复位
4 RST C0
C0 = M5 旋转计数
6 LD SB
X000 = 启动
7 AND SQ2
X003 = M1 原位
8 AND SQ5
X006 = M3 原位
9 AND SQ6
X007 = M5 转角开关
10 SET S10
S10 = 夹具夹紧
12 STL S10
S10 = 夹具夹紧
13 SET YV
Y011 = 夹具夹紧
14 OUT T0 K10
T0 = 夹紧延时
17 LD T0
T0 = 夹紧延时
18 SET S11
S11 = 滑台 M1 快进
20 SET S21
S21 = 滑台 M3 快进
22 STL S11
S11 = 滑台 M1 快进
23 SET KM0
Y000 = M1 快进
24 LD SQ0
X001 = M1 工进
25 SET S12
S12 = M1 工进，M2 旋转
27 STL S21
S21 = 滑台 M3 快进
28 SET KM4
Y004 = M3 快进
29 LD SQ3
X004 = M3 工进
```

```
30 SET S22
S22 = M3 工进，M4 旋转
32 STL S12
S12 = M1 工进，M2 旋转
33 OUT KM1
Y001 = M1 工进
34 OUT KM3
Y003 = M2 旋转
35 LD SQ1
X002 = M1 回退
36 SET S13
S13 = M1 快退
38 STL S22
S22 = M3 工进，M4 旋转
39 OUT KM5
Y005 = M3 工进
40 OUT KM7
Y007 = M4 旋转
41 LD SQ4
X005 = M3 回退
42 SET S23
S23 = M3 快退
44 STL S13
S13 = M1 快退
45 RST KM0
Y000 = M1 快进
46 ANI SQ2
X003 = M1 原位
47 OUT KM2
Y002 = M1 回退
48 STL S23
S23 = M3 快退
49 RST KM4
Y004 = M3 快进
50 ANI SQ5
X006 = M3 原位
51 OUT KM6
Y006 = M3 回退
52 STL S13
S13 = M1 快退
53 STL S23
S23 = M3 快退
54 LD SQ2
X003 = M1 原位
```

```
55 AND SQ5
X006 = M3 原位
56 SET S30
58 STL S30
59 RST YV
Y011 = 夹具夹紧
60 OUT T1 K10
T1 = 放松延时
63 LD T1
T1 = 放松延时
64 SET S31
S31 = 夹具放松
66 STL S31
S31 = 夹具放松
67 OUT KM8
Y010 = M5 旋转
68 MPS
69 AND SQ6
X007 = M5 转角开关
70 PLS M1
72 MPP
73 AND M1
74 OUT C0 K3
C0 = M5 旋转计数
77 LD C0
C0 = M5 旋转计数
78 OUT S0
S0 = 计数器复位
80 RET
81 END
```

实例分析

这是典型的根据组合机床的工作流程画出顺序功能图，根据顺序功能图编出 SFC 功能图，再根据 SFC 功能图直接进行 SFC 功能编程，最后利用 GX-Developer 将 SFC 功能程序转换成梯形图和相应指令表的过程。编程时要能熟练使用 GX-Developer 软件，由流程编程，提高编程效率。

实例 98：PLC 与变频器控制电动机正、反转

实例说明

控制系统组成框图如图 9-50 所示。系统工作时，PLC 通过 A/D 功能模块输入给定值，

再把该值与旋转编码器的反馈值进行比较，根据差值按照一定的算法决定给变频器的控制量，然后由变频器控制电动机运行。编码器的脉冲频率把电动机的转速值显示出来。接近开关为电磁感应式接近开关，型号为 TL—N20ME1。给定电位器用于产生一个连续可调的电压值，作为系统的给定信号，即给定的速度或位移值。从图 9-50 中可以看出，PLC 输出控制量给变频器有两种方式：一种是用开关量；另一种是用模拟量，系统工作只能按其中的一种方式运行。本实例 PLC 输出采用模拟量控制形式。

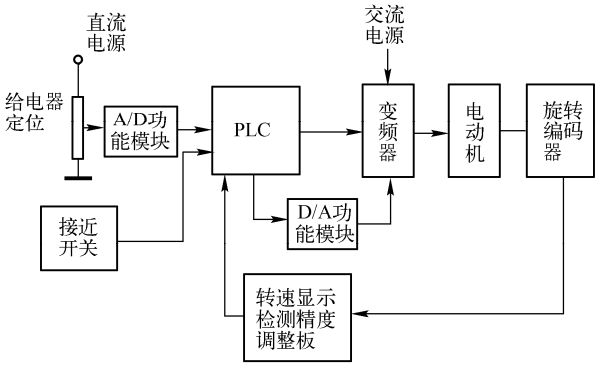


图 9-50　控制系统组成框图

实例实现

1）控制系统电路图设计

（1）控制系统设备选用

根据控制系统的工作原理与要求，本系统采用的可编程控制器型号为 FX_{0N}—24M，A/D 和 D/A 特殊功能模块为 FX_{0N}—3A，变频器型号是 VFD—022—A21，电动机是普通三相异步电动机，旋转编码器直接连在电动机的轴上，型号是 E6B2CWZ6C。

（2）I/O 点数及地址分配

用于接通或断开 PLC 电源的开关不占输入端子，电动机正转、反转和停止按钮各占 1 个输入端子，共需三个输入端子；电动机正转和反转控制需要两个输出端子。PLC 的 I/O 地址分配表如表 9-12 所示。

表 9-12　I/O 地址分配表

输 入 信 号			输 出 信 号		
名称	元件号	地址号	名称	元件号	地址号
停止按钮	SB1	X0	电动机正转输出	FWD	Y0
正转按钮	SB2	X1	电动机反转输出	REV	Y 1
反转按钮	SB3	X2			

（3）控制系统接线

根据 PLC 的 I/O 对应关系，再接合控制原理画出 PLC 控制接线图，如图 9-51 所示。该图没有画出电动机与测速仪之间的连接。

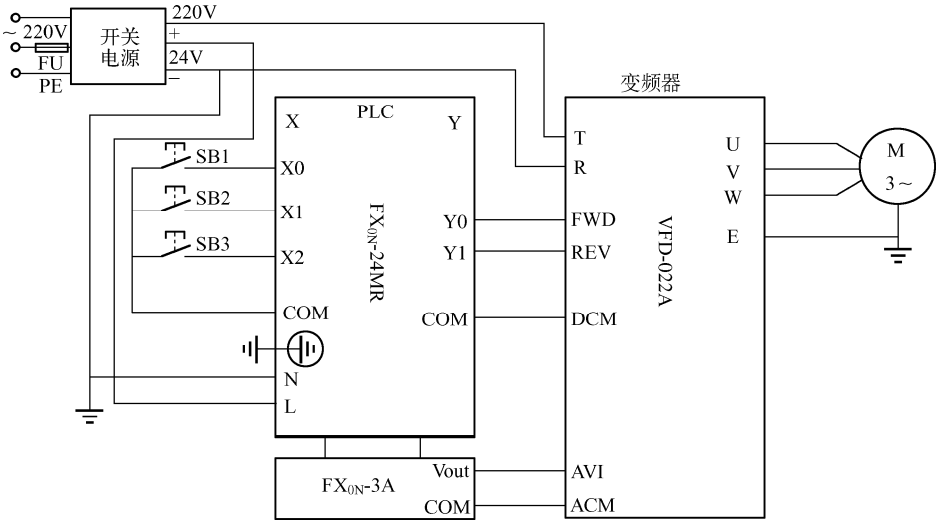


图 9-51　PLC 控制接线图

（4）变频器设置

变频器控制电动机运行有三种方式：变频器面板键盘控制、外部模拟输入端 AVI 控制和标准通信 485 接口控制三种方式。本实例 PLC 输出为模拟量控制，变频器由外部模拟输入端 AVI 控制运行状态，频率由电位器 RW1 来控制，调节 RW1，可以改变变频器的输入频率，从而改变电动机的转速。变频器参数设置：Pr—01 为 d0002，Pr—00 为 d0001。电动机的运行和停止由外部模拟输入信号控制。

2）程序设计与说明

电动机 5～20Hz 转速控制梯形图程序如图 9-52 所示。程序大体上可以分为三大部分：复位准备，电动机正、反转运行，电动机在 5～20Hz 间转速变化控制。程序 2～15 行为电动机复位准备。15～43 行电动机正、反转运行。其中，15～23 行为电动机正转输出控制；23～31 行为电动机反转输出控制；31～37 行为电动机停止控制；37～43 行为显示转速设定时间 2s。43～143 行为电动机在 5～20Hz 间转速变化控制。其中，43～89 行为模拟量输入控制，如果内部继电器接点 M1 接通，则选择 A/D 输入通道 1，接着启动 A/D 功能模块，把通道 1 的当前值取到数据寄存器 D0 中；92～143 行为模拟量输出控制，如果内部继电器接点 M2 接通，则把数据寄存器 D2 的值写入 BFM#16 准备 D/A 转换，接着启动 D/A 功能模块。模拟量输入与输出控制共同实现电动机在 5～20Hz 间转速的变化。

实例分析

本实例在硬件与软件协调设计基础上，采用结构化设计思想，将 PLC 控制程序分为复位准备，电动机正、反转运行，电动机在 5～20Hz 间转速变化控制等三部分，可读性强、编程与运行效率高，操作使用时方便，是工程设计中常用方法和技巧，值得借鉴。

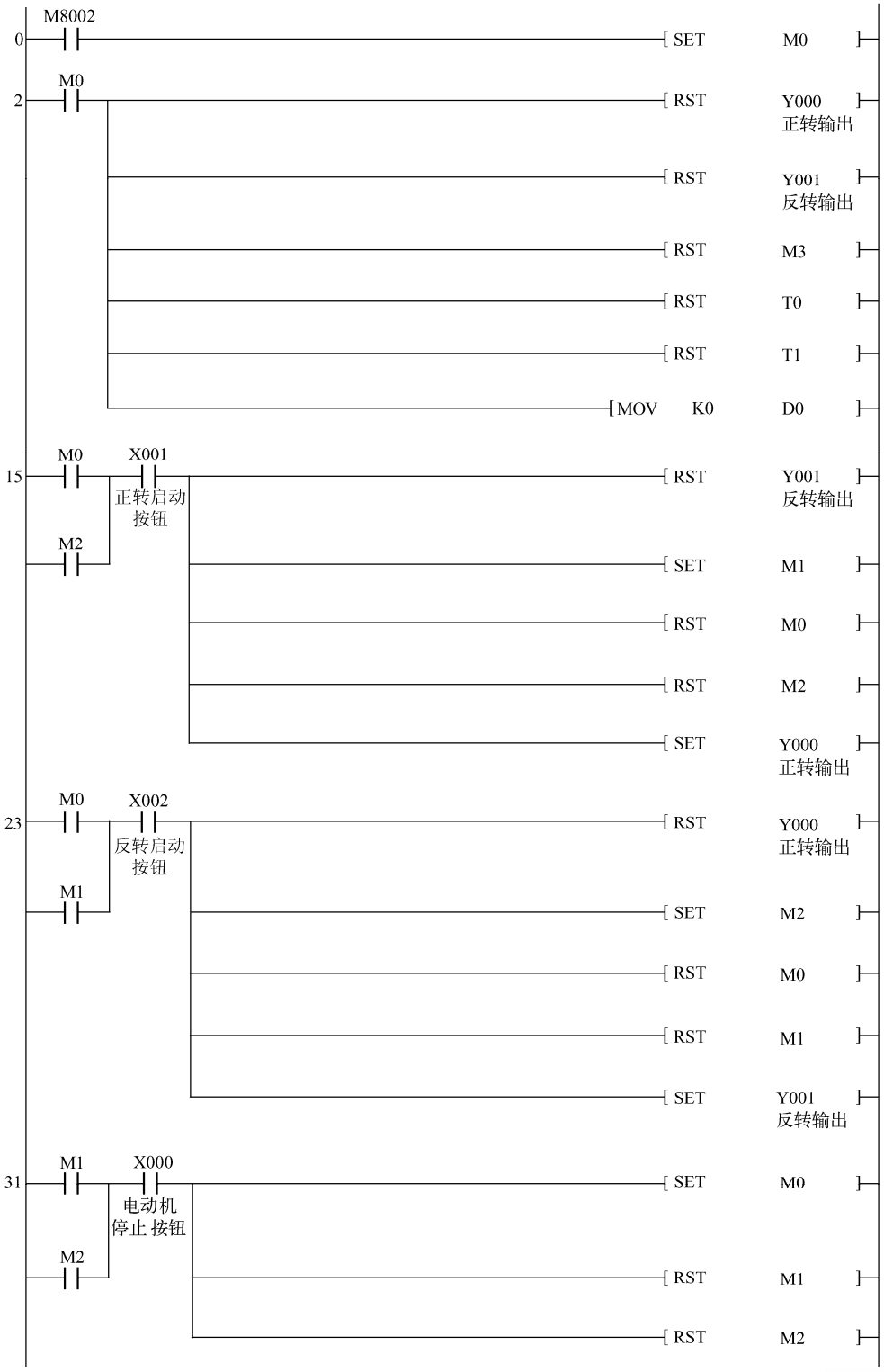


图 9-52　5～20Hz 电动机转速控制梯形图

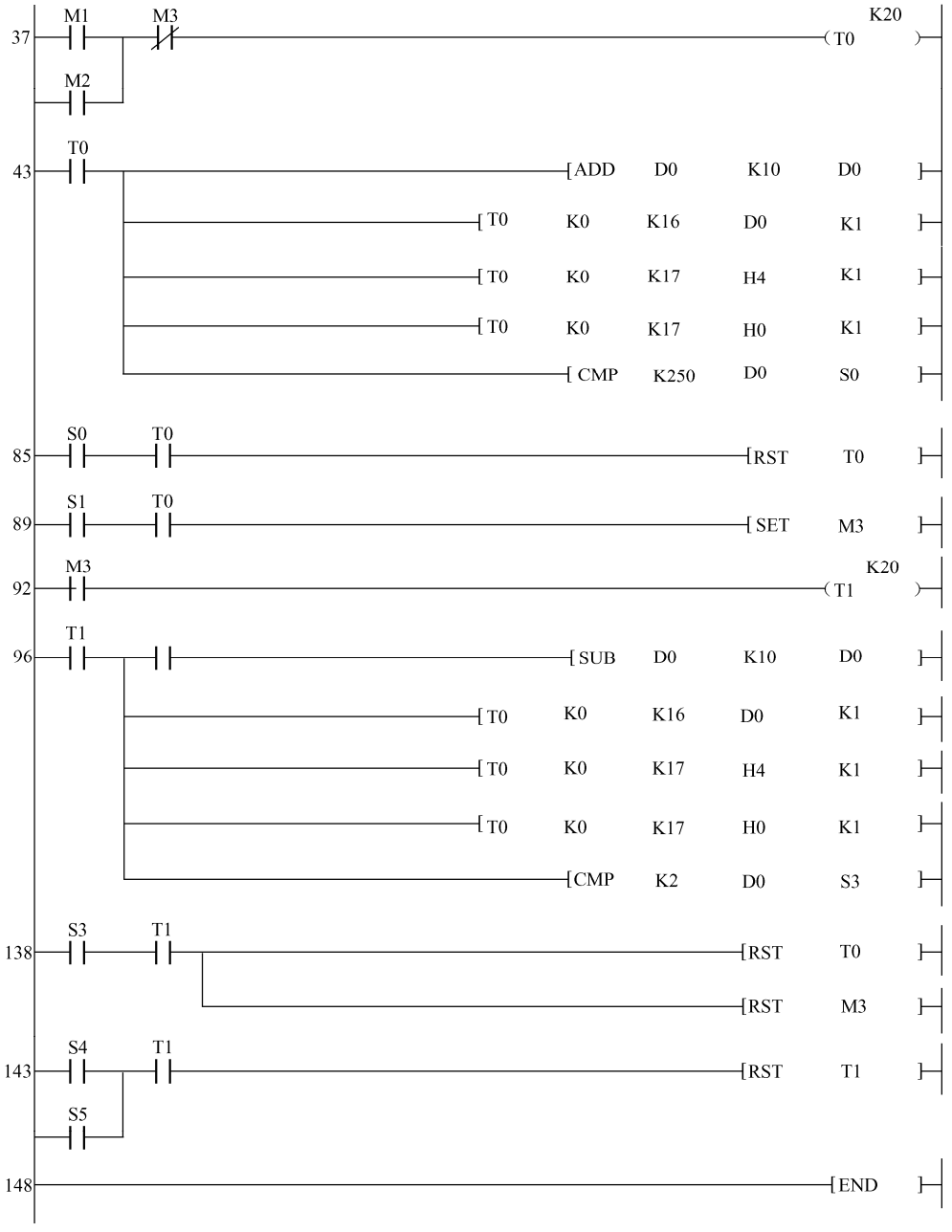


图 9-52　5～20Hz 电动机转速控制梯形图（续）

实例 99：载货电梯控制系统

实例说明

PLC 在电梯控制系统中的应用很普遍，程序的编写比较复杂。为了方便初学者理解掌握，这里以一种比较简化的载货电梯模型为例来说明电梯控制系统的编程思想。该载货电梯

为专门运货电梯，货厢内没有控制按钮，可用在宾馆酒店、工业厂房、建筑工地等运送货物。它具有如下功能。

（1）为了防止货物运送目的地错乱，采用谁先按钮谁先用，中途不允许中断和加货。

（2）按下所需到达某层的按钮后，电梯自动启动运行。到达某层时，在平层开关作用下，将自动平层、制动停梯。这时，层显示数码管显示电梯所在层数并报站。若在规定时间内，没有取走货物或加装货物，则取消控制权。

（3）厅门和轿厢门开，轿厢内的照明灯亮。

（4）只有所有厅门和和轿厢门关好之后，才允许启动运行。在运行过程中打开厅门，电梯也会自动停梯，并报警。

（5）当货物到达目的站，工作人员听到报站声之后，打开厅门、轿厢门，取走货物或加载货物之后，把轿厢门和厅门关好，才把电梯使用权交出去。这时，本层或其他站点按下按钮才有效，选层器就显示出电梯被哪一层使用，其他层的工作人员看到选层器指示，就不会再按，只有当选层器无显示时，按下选层器才有效。

（6）具有正、反互锁，过载，短路，关门监视，上、下限双位保护等功能。

（7）应急停车等。

实例实现

1）I/O 分配表与 PLC 接线图

根据控制对象的要求，确定控制系统的输入、输出信号及其 I/O 地址分配，如表 9-13 所示，PLC 接线图如图 9-53 所示。

表 9-13　载货电梯控制系统 I/O 地址分配表

输入端子	输入设备	输出端子	输出设备
X000	选层按钮 1 层 SB0	Y000	电梯上行 KA0
X001	选层按钮 2 层 SB1	Y001	电梯下行 KA1
X002	选层按钮 3 层 SB2	Y002	报站 KA2
X003	平层按钮 1 层上 SB3	Y003	电梯上行显示 HL1
X004	平层按钮 2 层上 SB4	Y004	电梯下行显示 HL2
X005	平层按钮 2 层下 SB5	Y005	报警 HL3
X006	平层按钮 3 层下 SB6	Y006	厢内照明 HL4
X007	急停按钮 SB7	Y007	货梯使用权占用指示 HL5
X010	复位按钮 SB8	Y010	楼层显示 HL-a
X011	维修开关 SB9	Y011	楼层显示 HL-b
X012	厢门关闭 SQ0	Y012	楼层显示 HL-c
X013	厅门关闭 SQ1	Y013	楼层显示 HL-d
X014	1 层下行程开关 SQ2	Y014	楼层显示 HL-e
X015	2 层上行程开关 SQ3	Y015	楼层显示 HL-f
X016	2 层下行程开关 SQ4	Y016	楼层显示 HL-g
X017	3 层上行行程关 SQ5		
X020	上行限位 SQ6		
X021	下行限位 SQ7		

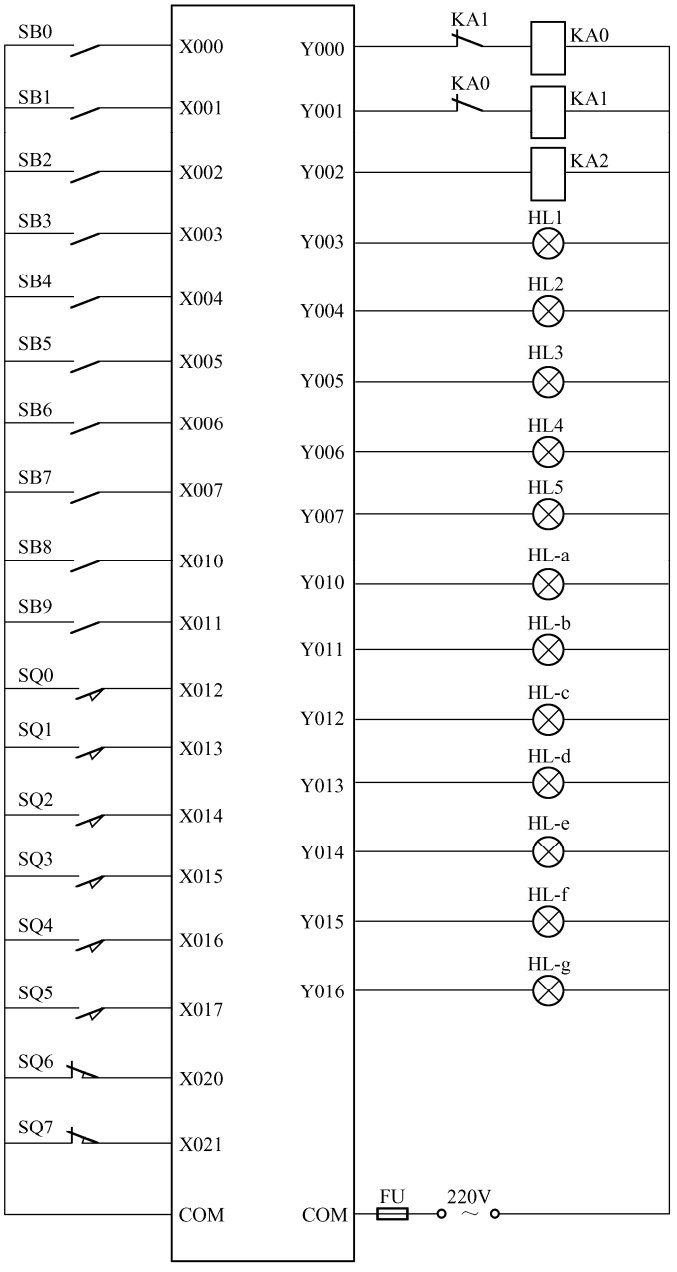


图 9-53　载货电梯控制系统 PLC 接线图

2）程序设计与分析

根据控制对象的任务要求，将电梯控制程序分为初始化与复位、电梯使用权确定、呼梯目标层选定、送货目标层选定、呼梯响应与送货响应、当前楼层计数、电梯运动控制、报警及显示处理等 8 个功能块。

（1）初始化与复位。当系统正常上电和系统故障按复位按钮后，将目标楼层寄存器 D0、呼梯楼层寄存器 D1 及呼梯目标楼层寄存器 D2 均设置为 1。

（2）电梯使用权确定。送货电梯设有一层平层向上按钮、二层平层向上按钮、二层平

层向下按钮、三层平层向下按钮。当平层按钮按下后，将其对应的占用标志（M0、M1、M2或 M3）使能。由于采用谁先按钮谁先用，中途不允许中断和加货，电梯一次只能完成一个送货任务，不能截梯，因此电梯占用标志是互锁的，保证一次只能响应一个按钮的使用请求。

（3）呼梯目标层选定。当按下平层按钮后，电梯应到达平层按钮所在楼层，这个过程称为呼梯。按下具有电梯使用权平层按钮后，通过 MOV 指令将对应平层按钮所在的楼层号传递给呼梯目标层寄存器 D2。通过电梯占用标志来保证目标层寄存器 D2 的值正确。

（4）送货目标层选定。在本实例中，假定楼层选定按钮面板装在电梯货厢中。当电梯到达呼梯目标层后，使用者手工打开电梯的厅门和厢门后才可以设置送货的目标楼层。当按下对应的楼层按钮后，将对应的楼层号通过 MOV 指令传送给送货目标层寄存器 D1。由于是赋值传递，这样可以保证最后一次按的按钮所确定的楼层为目标楼层。

（5）呼梯响应与送货响应。从电梯功能逻辑上看，只有电梯到达呼梯所在楼层后才能选定送货的目标楼层。所以，程序中通过呼梯响应标志 M40 和送货响应标志 M41 的互锁来实现先呼梯响应后送货响应的功能。呼梯响应与送货响应均通过比较指令 CMP 来实现。

当系统正常，即没有急停或维修信号时，将当前楼层寄存器 D0 与呼梯目标层寄存器 D2 的数值进行比较，根据比较结果来设置 M20、M21、M22 的值。当 D0＞D2 时，M20 置为“1”；否则，置为“0”。当 D0=D2 时，M21 置为“1”；否则，置为“0”。当 D0<D2 时，M22 置为“1”；否则，置为“0”。送货响应的原理也是如此，只不过比较结果用于设置 M30、M31、M32。在电梯运动控制程序段中就是通过 M20、M22 和 M30、M31 来控制电梯的上、下行运动的。

（6）当前楼层计数。该程序段通过加指令 INCP 和减指令 DECP 来实现楼层的计数。初始化或复位后，当前楼层数寄存器 D0 的值被置为“1”。当电梯上行时，碰到 2 层行程开关时当前楼层加 1 层，碰到 3 层行程开关也加 1 层；当电梯下行时，碰到 1 层行程开关时当前楼层减 1 层，碰到 2 层行程开关也减 1 层。

（7）电梯运动控制。当呼梯上升或送货上升时，电梯上升继电器一直使能，直到电梯到达目标层后 M20/M30 禁止使能，电梯上升继电器禁止使能。如果发生故障，电梯上行到上限位开关处时，上行禁止使能，电梯停止上升，系统进入故障状态。需要特别注意的是，由于上行程限位开关是常闭触点接线，系统上电后是一种常通状态，相应的梯形图中的常开触点处于导通状态。

当呼梯下降或送货下降时，电梯下降继电器一直使能，直到电梯到达目标层后 M22/M32 禁止使能，电梯下降继电器禁止使能。如果发生故障，电梯下行到下限位开关处时下行禁止使能，电梯停止下降，系统进入故障状态。需要特别注意的是，由于下行程限位开关也是常闭触点接线，系统上电后是一种常通状态，相应的梯形图中的常开触点处于导通状态。

当电梯上行到上限位开关处时，系统报警，需要按下复位按钮进行复位，电梯下行控制继电器使能，直到碰到 1 层下行程开关为止。复位操作后，电梯停在一层位置。

当电梯下行到下限位开关处时，系统报警，设置下行故障标志 M50。按下复位按钮复位时，电梯下行控制继电器使能，碰到 1 层下行程开关时下行继电器禁止使能，电梯停在一层位置，同时复位下行故障标志 M50。

（8）报警及显示处理。用七段数码显示译码指令 SEGD 来实现当前楼层寄存器 D0 的译码显示。当电梯触碰到上、下行程限位开关时，系统报警，如果是下行程限位还要设置下行

故障标志 M50。电梯上、下行时，Y3、Y4 输出，驱动 HL1、HL2，指示电梯运行方向。当有人使用电梯时，Y7 输出，电梯占用指示灯亮。当电梯到达呼梯目标楼层或送货目标楼层时，Y2 输出，开始每隔 1s 报站一次，同时启动报站定时器。如果 20s 内没有人打开厅门和厢门，则复位使用权，允许别人使用电梯。如果没有人使用电梯，则继续报站。总梯形图程序如图 9-54 所示，相应指令表如下：

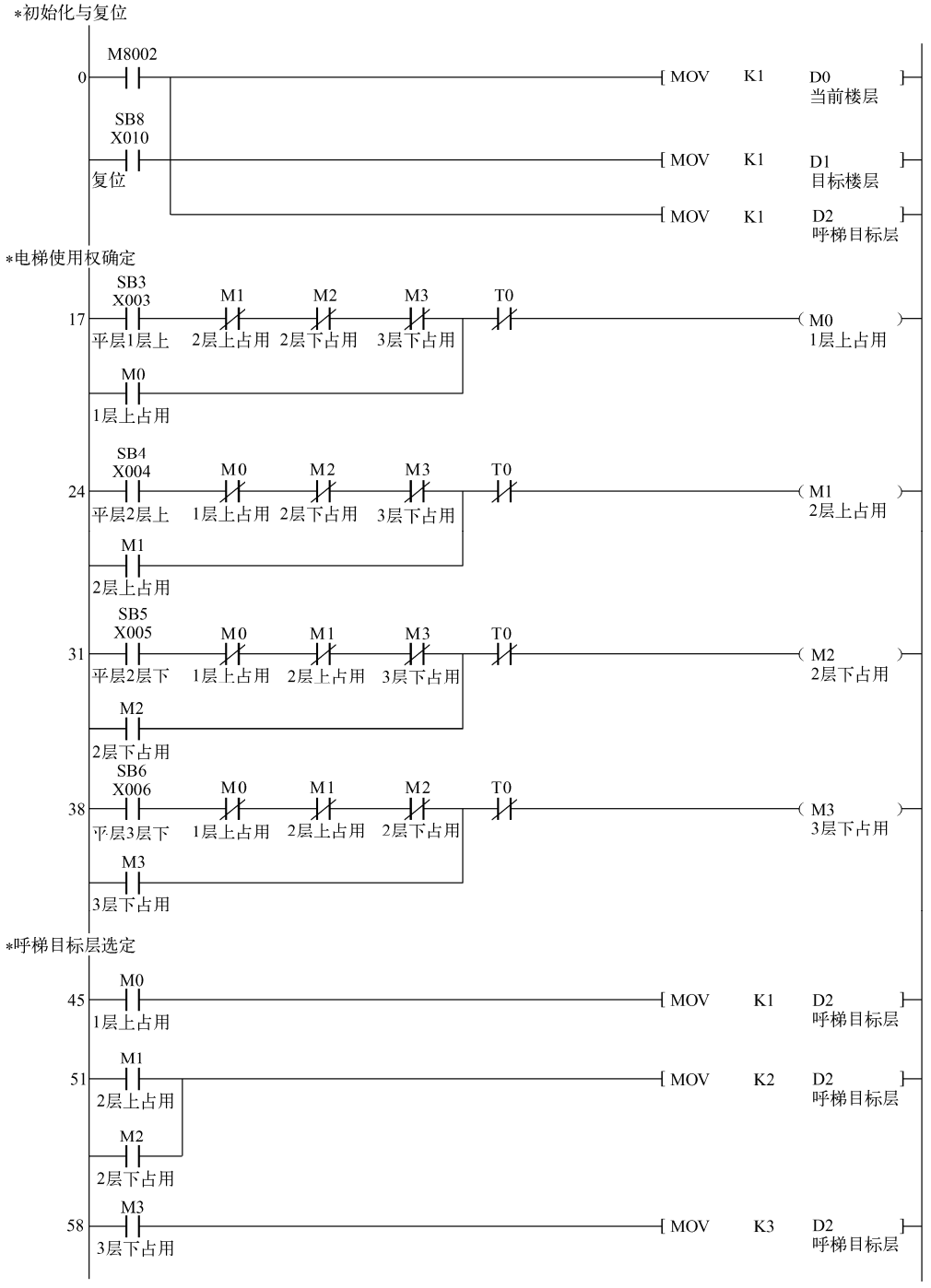


图 9-54　载货电梯控制系统 PLC 梯形图

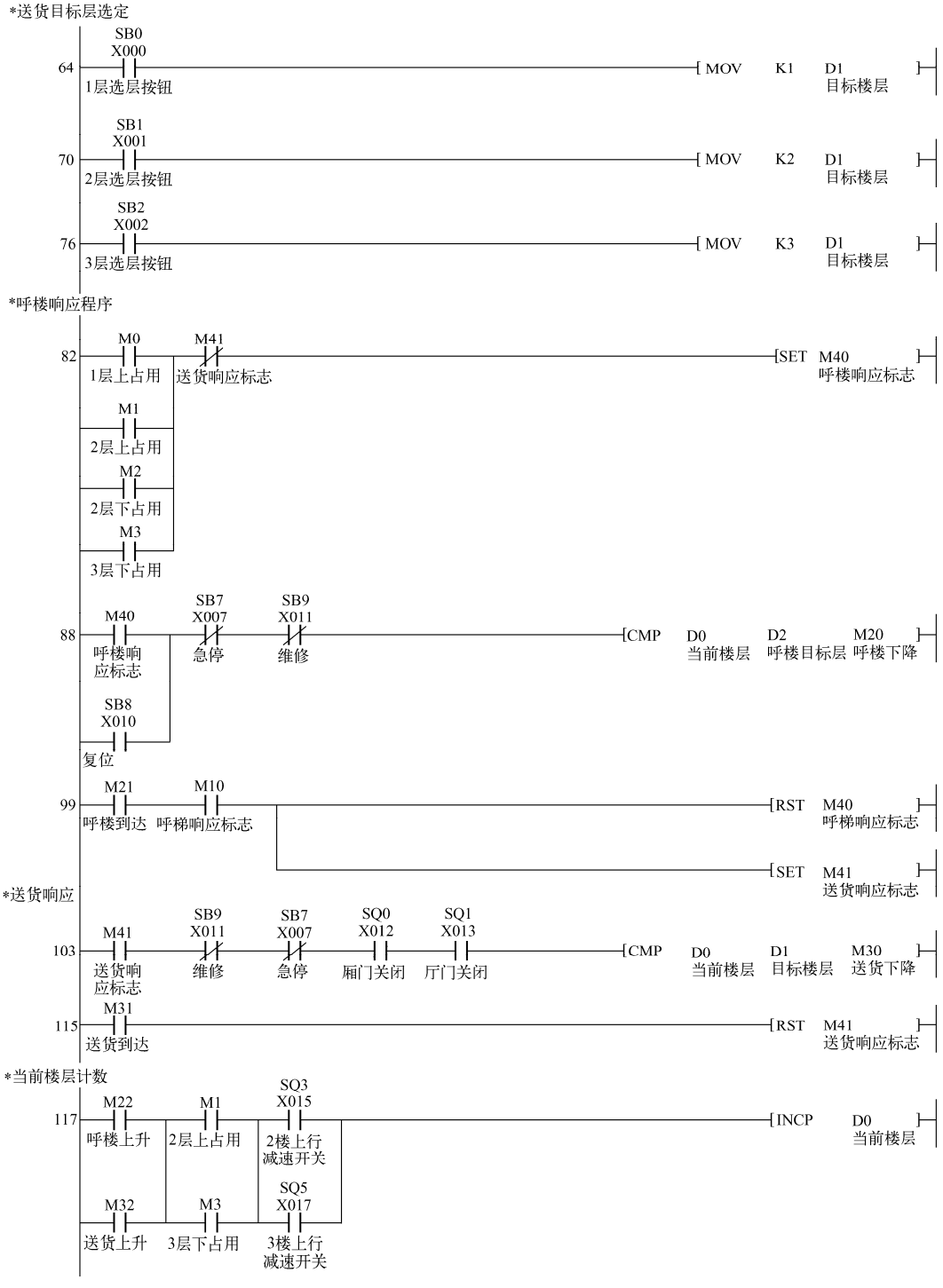


图 9-54　载货电梯控制系统 PLC 梯形图（续）

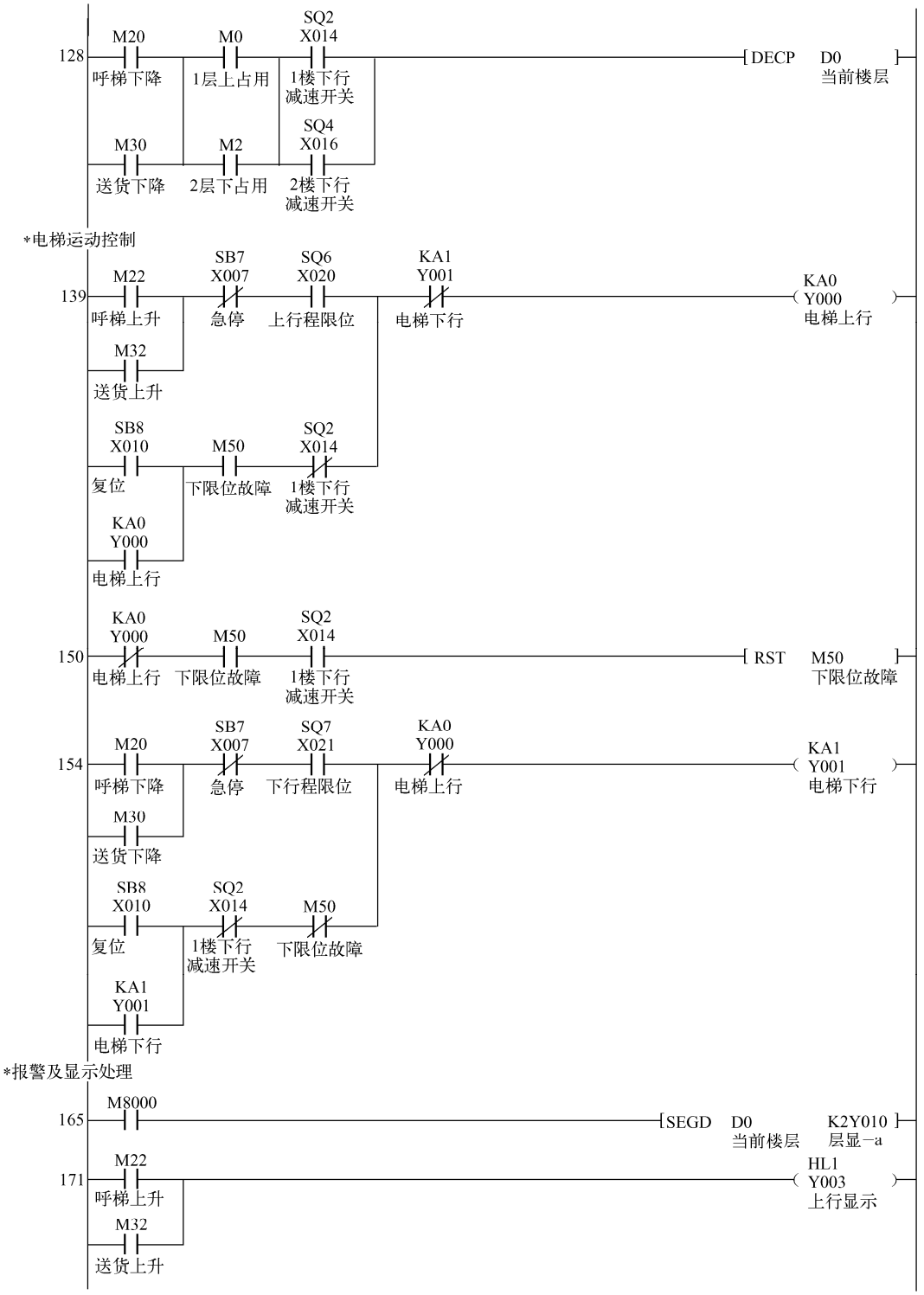


图 9-54　载货电梯控制系统 PLC 梯形图（续）

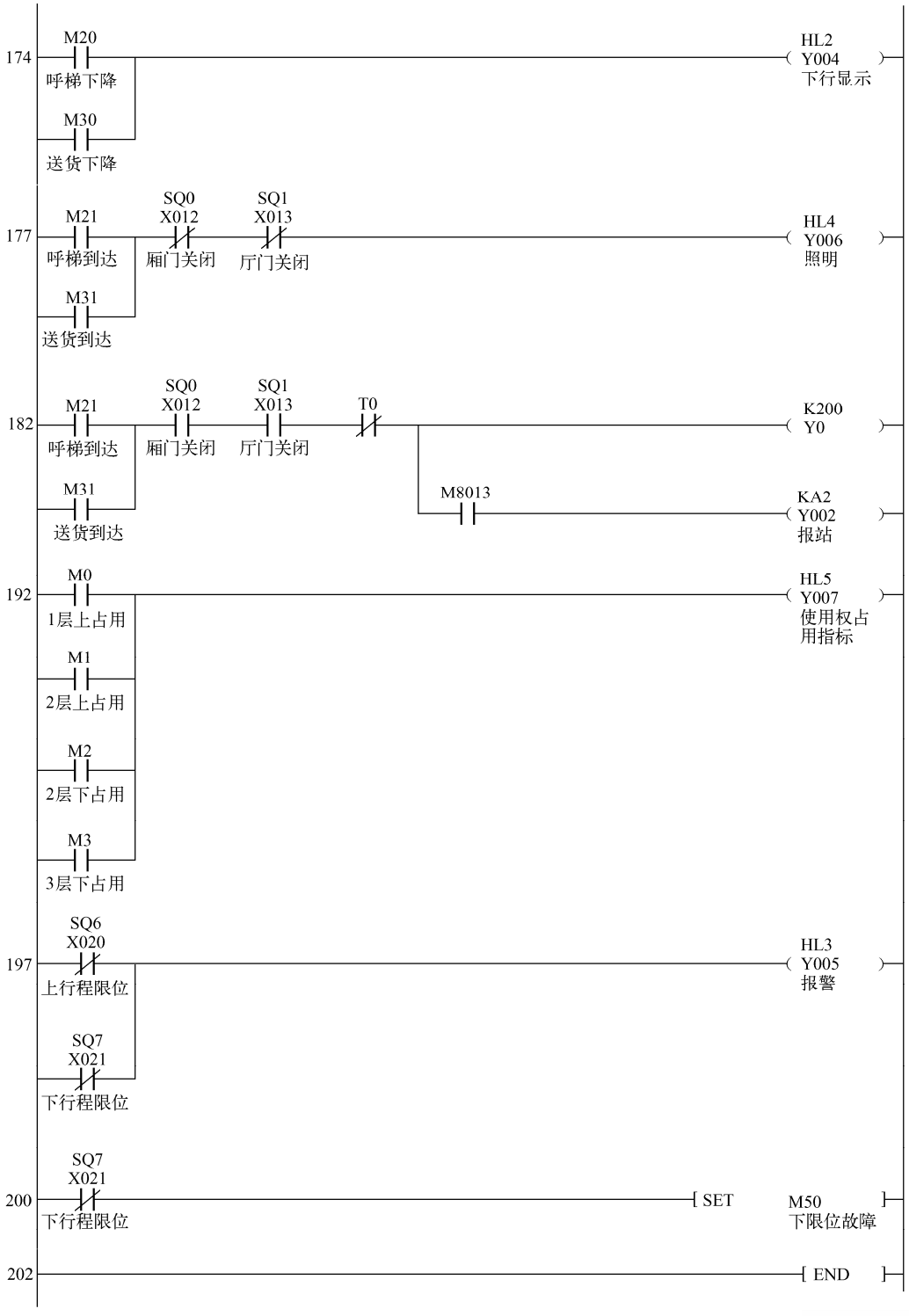


图 9-54　载货电梯控制系统 PLC 梯形图（续）

```
;*  初始化与复位
0 LD M8002
1 OR SB8
X010 =  复位
2 MOV K1 D0
D0 =  当前楼层
7 MOV K1 D1
D1 =  目标楼层
12 MOV K1 D2
D2 =  呼梯目标层
;*  电梯使用权确定
17 LD SB3
X003 =  平层 1 层上
18 ANI M1
M1 = 2 层上占用
19 ANI M2
M2 = 2 层下占用
20 ANI M3
M3 = 3 层下占用
21 OR M0
M0 = 1 层上占用
22 ANI T0
23 OUT M0
M0 = 1 层上占用
24 LD SB4
X004 =  平层 2 层上
25 ANI M0
M0 = 1 层上占用
26 ANI M2
M2 = 2 层下占用
27 ANI M3
M3 = 3 层下占用
28 OR M1
M1 = 2 层上占用
29 ANI T0
30 OUT M1
M1 = 2 层上占用
31 LD SB5
X005 =  平层 2 层下
32 ANI M0
M0 = 1 层上占用
33 ANI M1
```

```
M1 = 2 层上占用
34 ANI M3
M3 = 3 层下占用
35 OR M2
M2 = 2 层下占用
36 ANI T0
37 OUT M2
M2 = 2 层下占用
38 LD SB6
X006 =  平层 3 层下
39 ANI M0
M0 = 1 层上占用
40 ANI M1
M1 = 2 层上占用
41 ANI M2
M2 = 2 层下占用
42 OR M3
M3 = 3 层下占用
43 ANI T0
44 OUT M3
M3 = 3 层下占用
;*  呼梯目标层选定
45 LD M0
M0 = 1 层上占用
46 MOV K1 D2
D2 =  呼梯目标层
51 LD M1
M1 = 2 层上占用
52 OR M2
M2 = 2 层下占用
53 MOV K2 D2
D2 =  呼梯目标层
58 LD M3
M3 = 3 层下占用
59 MOV K3 D2
D2 =  呼梯目标层
;*  送货目标层选定
64 LD SB0
X000 = 1 层选层按钮
65 MOV K1 D1
D1 =  目标楼层
70 LD SB1
```

X001 = 2 层选层按钮
71 MOV K2 D1
D1 = 目标楼层
76 LD SB2
X002 = 3 层选层按钮
77 MOV K3 D1
D1 = 目标楼层
;* 呼梯响应程序
82 LD M0
M0 = 1 层上占用
83 OR M1
M1 = 2 层上占用
84 OR M2
M2 = 2 层下占用
85 OR M3
M3 = 3 层下占用
86 ANI M41
M41 = 送货响应标志
87 SET M40
M40 = 呼梯响应标志
88 LD M40
M40 = 呼梯响应标志
89 OR SB8
X010 = 复位
90 ANI SB7
X007 = 急停
91 ANI SB9
X011 = 维修
92 CMP D0 D2 M20
D0 = 当前楼层
D2 = 呼梯目标层
M20 = 呼梯下降
99 LD M21
M21 = 呼梯到达
100 AND M40
M40 = 呼梯响应标志
101 RST M40
M40 = 呼梯响应标志
102 SET M41
M41 = 送货响应标志
;* 送货响应
103 LD M41

```
M41 =  送货响应标志
104 ANI SB9
X011 =  维修
105 ANI SB7
X007 =  急停
106 AND SQ0
X012 =  厢门关闭
107 AND SQ1
X013 =  厅门关闭
108 CMP D0 D1 M30
D0 =  当前楼层
D1 =  目标楼层
M30 =  送货下降
115 LD M31
M31 =  送货到达
116 RST M41
M41 =  送货响应标志
;*  当前楼层计数
117 LD M22
M22 =  呼梯上升
118 OR M32
M32 =  送货上升
119 LD M1
M1 = 2 层上占用
120 OR M3
M3 = 3 层下占用
121 ANB
122 LD SQ3
X015 = 2 楼上行减速开关
123 OR SQ5
X017 = 3 楼上行减速开关
124 ANB
125 INCP D0
D0 =  当前楼层
128 LD M20
M20 =  呼梯下降
129 OR M30
M30 =  送货下降
130 LD M0
M0 = 1 层上占用
131 OR M2
M2 = 2 层下占用
```

```
132 ANB
133 LD SQ2
X014 = 1 楼下行减速开关
134 OR SQ4
X016 = 2 楼下行减速开关
135 ANB
136 DECP D0
D0 = 当前楼层
;* 电梯运动控制
139 LD M22
M22 = 呼梯上升
140 OR M32
M32 = 送货上升
141 ANI SB7
X007 = 急停
142 AND SQ6
X020 = 上行程限位
143 LD SB8
X010 = 复位
144 OR KA0
Y000 = 电梯上行
145 AND M50
M50 = 下限位故障
146 ANI SQ2
X014 = 1 楼下行减速开关
147 ORB
148 ANI KA1
Y001 = 电梯下行
149 OUT KA0
Y000 = 电梯上行
150 LDI KA0
Y000 = 电梯上行
151 AND M50
M50 = 下限位故障
152 AND SQ2
X014 = 1 楼下行减速开关
153 RST M50
M50 = 下限位故障
154 LD M20
M20 = 呼梯下降
155 OR M30
M30 = 送货下降
```

```
156 ANI SB7
X007 = 急停
157 AND SQ7
X021 = 下行程限位
158 LD SB8
X010 = 复位
159 OR KA1
Y001 = 电梯下行
160 ANI SQ2
X014 = 1 楼下行减速开关
161 ANI M50
M50 = 下限位故障
162 ORB
163 ANI KA0
Y000 = 电梯上行
164 OUT KA1
Y001 = 电梯下行
;* 报警及显示处理
165 LD M8000
166 SEGD D0 K2Y010
D0 = 当前楼层
Y010 = 层显-a
171 LD M22
M22 = 呼梯上升
172 OR M32
M32 = 送货上升
173 OUT HL1
Y003 = 上行显示
174 LD M20
M20 = 呼梯下降
175 OR M30
M30 = 送货下降
176 OUT HL2
Y004 = 下行显示
177 LD M21
M21 = 呼梯到达
178 OR M31
M31 = 送货到达
179 ANI SQ0
X012 = 厢门关闭
180 ANI SQ1
X013 = 厅门关闭
```

```
181 OUT HL4
Y006 = 照明
182 LD M21
M21 = 呼梯到达
183 OR M31
M31 = 送货到达
184 AND SQ0
X012 = 厢门关闭
185 AND SQ1
X013 = 厅门关闭
186 ANI T0
187 OUT T0 K200
190 AND M8013
191 OUT KA2
Y002 = 报站
192 LD M0
M0 = 1 层上占用
193 OR M1
M1 = 2 层上占用
194 OR M2
M2 = 2 层下占用
195 OR M3
M3 = 3 层下占用
196 OUT HL5
Y007 = 使用权占用指示
197 LDI SQ6
X020 = 上行程限位
198 ORI SQ7
X021 = 下行程限位
199 OUT HL3
Y005 = 报警
200 LDI SQ7
X021 = 下行程限位
201 SET M50
M50 = 下限位故障
202 END
```



实例分析

本实例给出的载货电梯模型只有 3 层，但程序复杂，共分 8 个功能模块。设计程序时采用模块化思想，按功能模块划分，分块设计，将复杂程序分割简化处理，有利于编程序、读程序、调试程序，这是大型复杂程序设计的通用方法。对于更多层载货电梯，只需要扩展

相应的程序段便可增加控制电梯的层数，读者可以扩展练习。另外，载客电梯对电梯运行的快速性、安全性、舒适性均有很高要求，甚至还要求对多台电梯实现智能化的集群控制，相应的控制程序要比载货电梯复杂得多，编程也困难得多，有兴趣的读者可以查阅相关资料进行专题研究。

实例 100：抢答器程序设计

实例说明

抢答比赛是一种常见的益智竞赛，在电视节目、学校、企事业单位的文体活动中很常见。基于 PLC 开发的抢答器，具有性能可靠、配置灵活、便于扩展的特点。该基于 PLC 的抢答器要实现以下功能。

（1）设 8 个抢答按钮 SB0～SB7，满足 8 个人或参赛队的抢答比赛需要。

（2）主持人按下启动按钮 SB8 后，在设定的时间 T0 内，如果选手按下抢答按钮成功时，接通音效电路 1 发出声音，抢答指示灯 HL0 亮起，七段数码管显示出抢答选手号码。

（3）如果 T0 时间内无人抢答，则接通音效电路 2，发出无人抢答的声音信号，指示灯 HL1 亮起。

（4）抢答成功后，主持人按下回答定时按钮 SB9，启动定时器，在 T1 时间内答题有效，定时结束，答题时间到，接通音效电路 3，指示灯 HL2 亮起。

（5）当一轮抢答结束后，主持人按下复位按钮 SB10 将系统复位，准备下一轮比赛。

实例实现

1）I/O 地址分配表与 PLC 接线图

I/O 地址分配表如表 9-14 所示，PLC 接线图如图 9-55 所示。

表 9-14　抢答器 PLC 控制系统 I/O 地址分配表

输入端子	输入设备	输出端子	输出设备
X000	抢答按钮 SB0	Y000	音效 1 KA0
X001	抢答按钮 SB1	Y001	音效 2 KA1
X002	抢答按钮 SB2	Y002	音效 3 KA2
X003	抢答按钮 SB3	Y003	抢答指示灯 HL0
X004	抢答按钮 SB4	Y004	无抢答指示灯 HL1
X005	抢答按钮 SB5	Y005	回答结束指示灯 HL2
X006	抢答按钮 SB6	Y006	数码管 HL-a
X007	抢答按钮 SB7	Y007	数码管 HL-b
X010	抢答开始按钮 SB8	Y010	数码管 HL-c
X011	限时按钮 SB9	Y011	数码管 HL-d
X012	复位按钮 SB10	Y012	数码管 HL-e
		Y013	数码管 HL-f
		Y014	数码管 HL-g

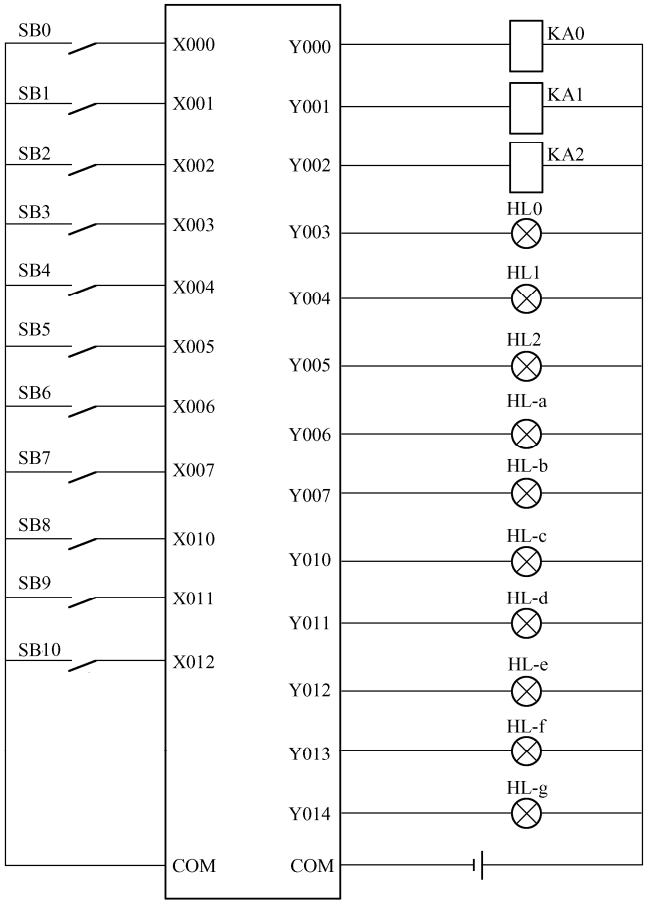


图 9-55　抢答器 PLC 接线图

2）程序编制与分析

分析抢答器要实现的功能后，将控制程序分成两部分：一部分为初始化与抢答开始部分；另一部分为抢答功能的实现部分。抢答是否开始由主持人控制，只有主持人按下抢答按钮后，才能进行抢答，可以以此为条件，采用主控指令 MC 来实现该控制逻辑。程序开始运行或按下复位按钮 SB10 时，将抢答队号的寄存器 D0 的值清零。而后按下抢答开始按钮 SB8 后，主控指令 MC 的执行条件 M10 使能，开始执行主控指令段中的程序。无论何时，只要按下复位按钮 SB10，其常闭触点断开，M10 禁止使能，主控指令段中的程序停止执行，抢答终止，开始新一轮工作循环。

当执行主控指令段中的程序时，首先启动抢答延时定时器 T0，开始抢答计时。接着进行抢答处理，当抢答按钮 SB0～SB8 中的任何一个被抢先按下时，其对应的抢答标志 M 继电器使能，为了保证只能有一个队答题，8 个抢答标志之间分别进行互锁。当一个队抢答成功后，用 MOV 指令将其对应的队号传送给抢答队号寄存器 D0。接着，用比较指令 CMP 将 D0 的值与数值“0”进行比较，若两者相等，则说明没有队伍进行抢答。如果两者不相等，则说明有队伍抢答成功，同时，M21 使能，其常闭触点接通。当有队伍抢答成功后，用 SEGD 译码指令显示队伍编号，Y3 输出，抢答指示灯亮起，相应的音效驱动继电器 KA0 使

能。同时，将抢答定时器 T0 复位。这时主持人按下答题开始按钮 SB8，则启动答题延时定时器 T1。答题延时定时结束时，对应的指示灯亮起，音效控制继电器 KA2 使能。如果在抢答时间内没有抢答，则定时器 T0 使能，其常闭点断开，不再执行比较指令，抢答结束。梯形图程序如图 9-56 所示。相应指令表如下：

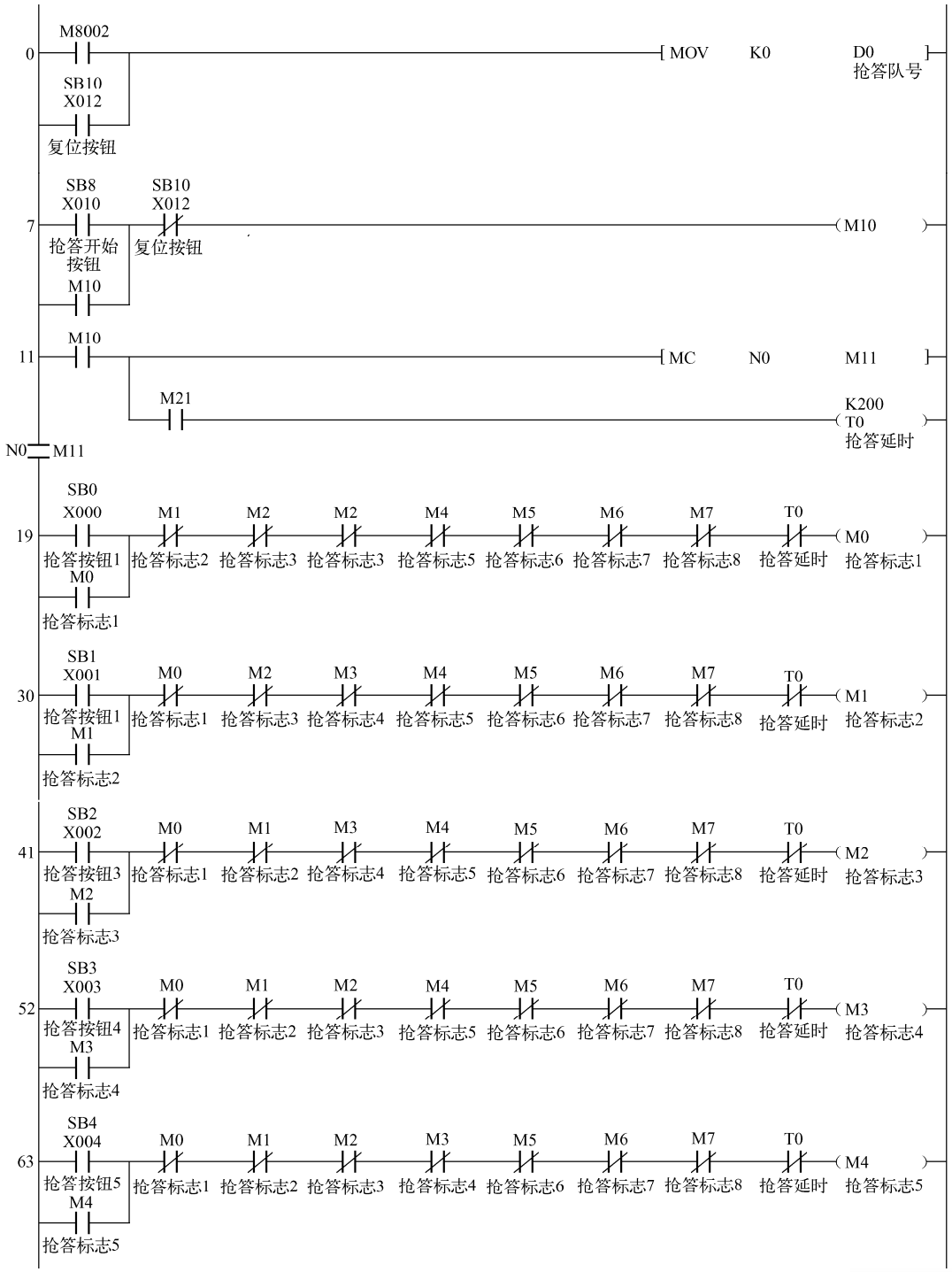


图 9-56　抢答器 PLC 控制梯形图

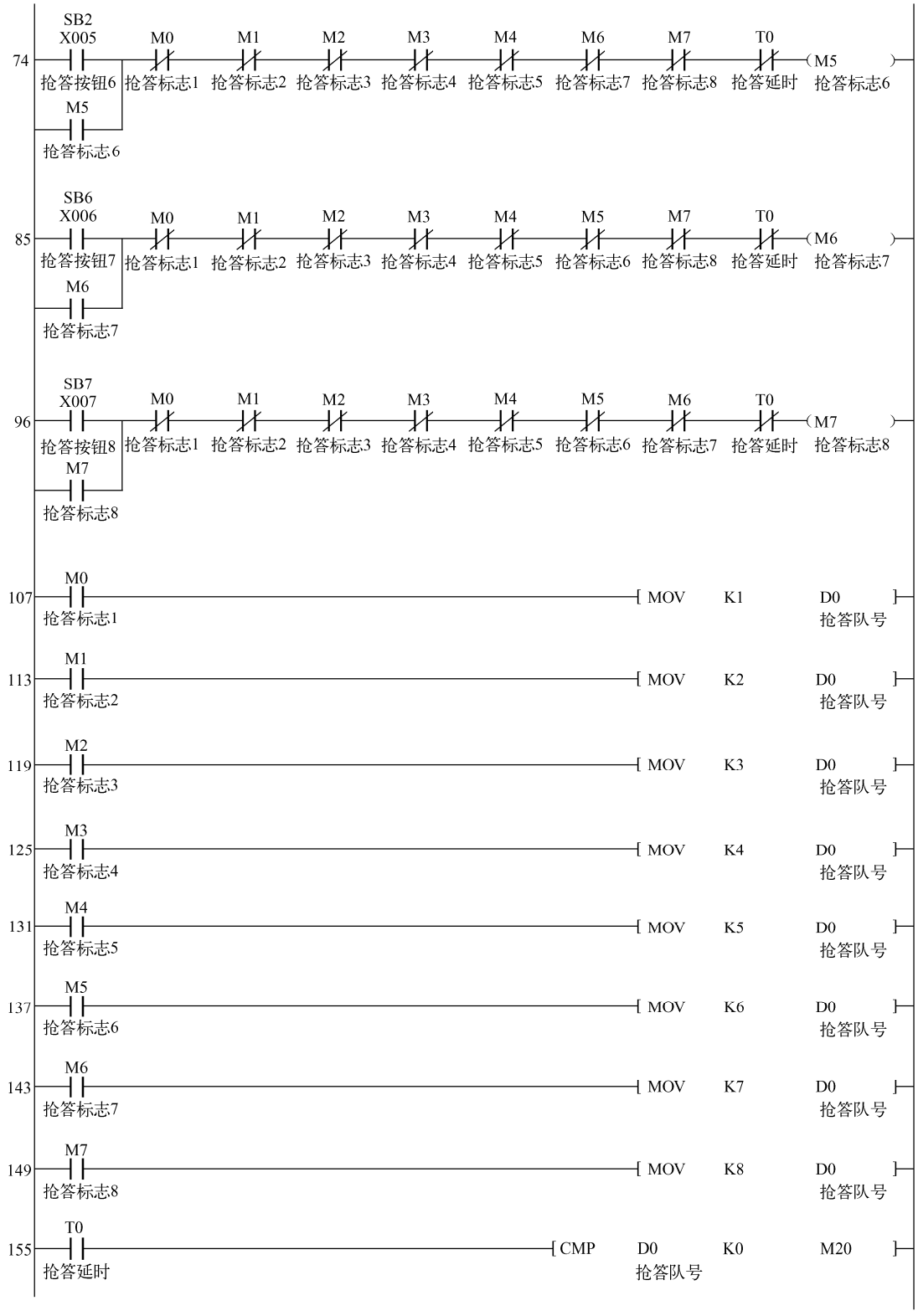


图 9-56　抢答器 PLC 控制梯形图（续）

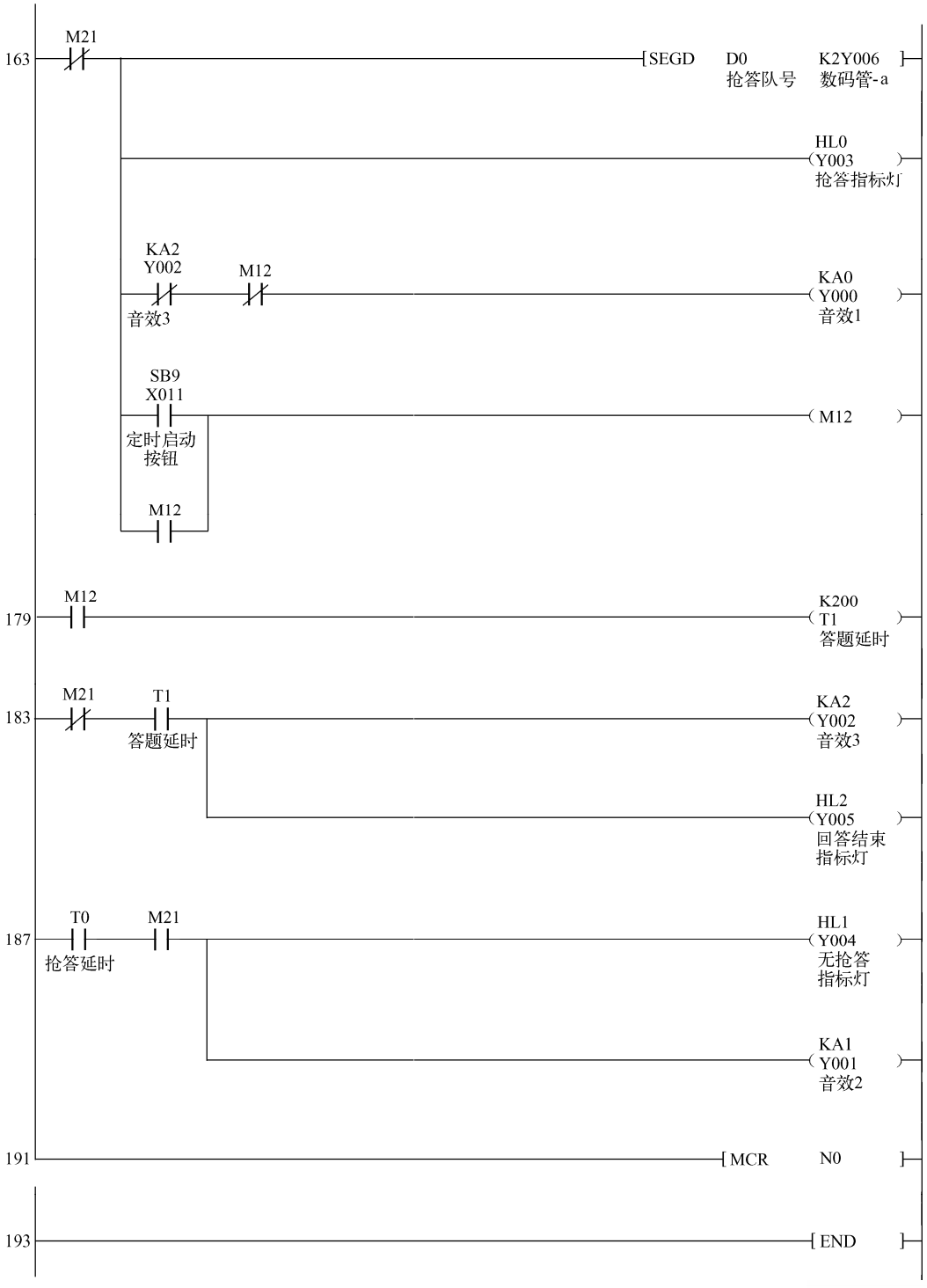


图 9-56　抢答器 PLC 控制梯形图（续）

```
0 LD M8002
1 OR SB10
X012 =  复位按钮
```

```
2 MOV K0 D0
D0 = 抢答队号
7 LD SB8
X010 = 抢答开始按钮
8 OR M10
9 ANI SB10
X012 = 复位按钮
10 OUT M10
11 LD M10
12 MC N0 M11
15 AND M21
16 OUT T0 K200
T0 = 抢答延时
19 LD SB0
X000 = 抢答按钮 1
20 OR M0
M0 = 抢答标志 1
21 ANI M1
M1 = 抢答标志 2
22 ANI M2
M2 = 抢答标志 3
23 ANI M3
M3 = 抢答标志 4
24 ANI M4
M4 = 抢答标志 5
25 ANI M5
M5 = 抢答标志 6
26 ANI M6
M6 = 抢答标志 7
27 ANI M7
M7 = 抢答标志 8
28 ANI T0
T0 = 抢答延时
29 OUT M0
M0 = 抢答标志 1
30 LD SB1
X001 = 抢答按钮 2
31 OR M1
M1 = 抢答标志 2
32 ANI M0
M0 = 抢答标志 1
33 ANI M2
M2 = 抢答标志 3
34 ANI M3
M3 = 抢答标志 4
35 ANI M4
```

```
M4 = 抢答标志 5
36 ANI M5
M5 = 抢答标志 6
37 ANI M6
M6 = 抢答标志 7
38 ANI M7
M7 = 抢答标志 8
39 ANI T0
T0 = 抢答延时
40 OUT M1
M1 = 抢答标志 2
41 LD SB2
X002 = 抢答按钮 3
42 OR M2
M2 = 抢答标志 3
43 ANI M0
M0 = 抢答标志 1
44 ANI M1
M1 = 抢答标志 2
45 ANI M3
M3 = 抢答标志 4
46 ANI M4
M4 = 抢答标志 5
47 ANI M5
M5 = 抢答标志 6
48 ANI M6
M6 = 抢答标志 7
49 ANI M7
M7 = 抢答标志 8
50 ANI T0
T0 = 抢答延时
51 OUT M2
M2 = 抢答标志 3
52 LD SB3
X003 = 抢答按钮 4
53 OR M3
M3 = 抢答标志 4
54 ANI M0
M0 = 抢答标志 1
55 ANI M1
M1 = 抢答标志 2
56 ANI M2
M2 = 抢答标志 3
57 ANI M4
M4 = 抢答标志 5
58 ANI M5
```

M5 = 抢答标志 6
59 ANI M6
M6 = 抢答标志 7
60 ANI M7
M7 = 抢答标志 8
61 ANI T0
T0 = 抢答延时
62 OUT M3
M3 = 抢答标志 4
63 LD SB4
X004 = 抢答按钮 5
64 OR M4
M4 = 抢答标志 5
65 ANI M0
M0 = 抢答标志 1
66 ANI M1
M1 = 抢答标志 2
67 ANI M2
M2 = 抢答标志 3
68 ANI M3
M3 = 抢答标志 4
69 ANI M5
M5 = 抢答标志 6
70 ANI M6
M6 = 抢答标志 7
71 ANI M7
M7 = 抢答标志 8
72 ANI T0
T0 = 抢答延时
73 OUT M4
M4 = 抢答标志 5
74 LD SB5
X005 = 抢答按钮 6
75 OR M5
M5 = 抢答标志 6
76 ANI M0
M0 = 抢答标志 1
77 ANI M1
M1 = 抢答标志 2
78 ANI M2
M2 = 抢答标志 3
79 ANI M3
M3 = 抢答标志 4
80 ANI M4
M4 = 抢答标志 5
81 ANI M6

```
M6 =  抢答标志 7
82 ANI M7
M7 =  抢答标志 8
83 ANI T0
T0 =  抢答延时
84 OUT M5
M5 =  抢答标志 6
85 LD SB6
X006 =  抢答按钮 7
86 OR M6
M6 =  抢答标志 7
87 ANI M0
M0 =  抢答标志 1
88 ANI M1
M1 =  抢答标志 2
89 ANI M2
M2 =  抢答标志 3
90 ANI M3
M3 =  抢答标志 4
91 ANI M4
M4 =  抢答标志 5
92 ANI M5
M5 =  抢答标志 6
93 ANI M7
M7 =  抢答标志 8
94 ANI T0
T0 =  抢答延时
95 OUT M6
M6 =  抢答标志 7
96 LD SB7
X007 =  抢答按钮 8
97 OR M7
M7 =  抢答标志 8
98 ANI M0
M0 =  抢答标志 1
99 ANI M1
M1 =  抢答标志 2
100 ANI M2
M2 =  抢答标志 3
101 ANI M3
M3 =  抢答标志 4
102 ANI M4
M4 =  抢答标志 5
103 ANI M5
M5 =  抢答标志 6
104 ANI M6
```

```
M6 = 抢答标志 7
105 ANI T0
T0 = 抢答延时
106 OUT M7
M7 = 抢答标志 8
107 LD M0
M0 = 抢答标志 1
108 MOV K1 D0
D0 = 抢答队号
113 LD M1
M1 = 抢答标志 2
114 MOV K2 D0
D0 = 抢答队号
119 LD M2
M2 = 抢答标志 3
120 MOV K3 D0
D0 = 抢答队号
125 LD M3
M3 = 抢答标志 4
126 MOV K4 D0
D0 = 抢答队号
131 LD M4
M4 = 抢答标志 5
132 MOV K5 D0
D0 = 抢答队号
137 LD M5
M5 = 抢答标志 6
138 MOV K6 D0
D0 = 抢答队号
143 LD M6
M6 = 抢答标志 7
144 MOV K7 D0
D0 = 抢答队号
149 LD M7
M7 = 抢答标志 8
150 MOV K8 D0
D0 = 抢答队号
155 LDI T0
T0 = 抢答延时
156 CMP D0 K0 M20
D0 = 抢答队号
163 LDI M21
164 SEGD D0 K2Y006
D0 = 抢答队号
Y006 = 数码管-a
169 OUT HL0
```

```
Y003 = 抢答指标灯
170 MPS
171 ANI KA2
Y002 = 音效 3
172 ANI M12
173 OUT KA0
Y000 = 音效 1
174 MPP
175 LD SB9
X011 = 定时启动按钮
176 OR M12
177 ANB
178 OUT M12
179 LD M12
180 OUT T1 K200
T1 = 答题延时
183 LDI M21
184 AND T1
T1 = 答题延时
185 OUT KA2
Y002 = 音效 3
186 OUT HL2
Y005 = 回答结束指标灯
187 LD T0
T0 = 抢答延时
188 AND M21
189 OUT HL1
Y004 = 无抢答指标灯
190 OUT KA1
Y001 = 音效 2
191 MCR N0
193 END
```



实例分析

抢答器的程序看似复杂，实质分为抢答权获取、抢答等待、抢答结束等部分，还有抢答器显示、提示音等。抢答权获取采用互锁控制即可，抢答等待由延时控制实现，延时结束后即抢答结束，这些用基本控制程序设计方法即可实现。对于抢答显示和提示音，实质是对显示器编程和蜂鸣器编程，显示器为独立型，只要对相应端口接通即可，编程简单。这类程序编写时，只要编写一个抢答人程序，其余扩展即可。

思考题

1．可编程控制器控制系统设计的原则有哪些？

2．PLC 选型的基本原则是什么？选择时一般需考虑哪些方面？

3．PLC 软件设计方法主要有几种类型？试分别举例说明。

4．移植设计法需要注意些什么问题？

5．逻辑设计法的核心问题是什么？

6．设计 PLC 控制汽车拐弯灯的梯形图。具体要求：汽车驾驶台上有一个开关，有三个位置分别控制左闪灯亮、右闪灯亮和关灯，当开关扳到 S1 位置时，左闪灯亮（要求亮、灭时间各为 1s）；当开关扳到 S2 位置时，右闪灯亮（要求亮、灭时间各为 1s）；当开关扳到 S0 位置时，关断左、右闪灯；当司机开灯后忘了关灯，则过 1.5min 后自动停止闪灯。

7．试设计一条用 PLC 控制的自动装卸线。自动线结构示意图如图 9-57 所示。电动机 M1 驱动装料机加料，电动机 M2 驱动料车升降，电动机 M3 驱动卸料机卸料。装卸线操作过程如下：

① 料车在原位，显示原位状态，按下启动按钮，自动线开始工作；

② 加料定时 5s，加料结束；

③ 延时 1s，料车上升；

④ 上升到位，自动停止移动；

⑤ 延时 1s，料车自动卸料；

⑥ 卸料 10s，料车复位并下降；

⑦ 下降到原位，料车自动停止移动。

要求：能实现单周期装卸料及连续循环操作。

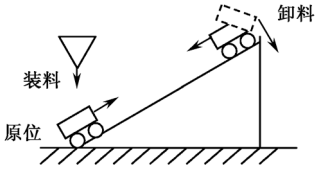
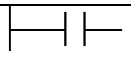
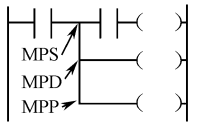
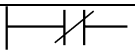
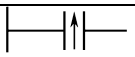
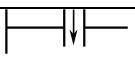
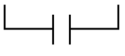
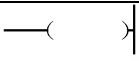
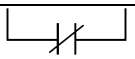
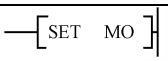
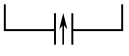
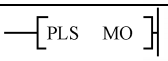
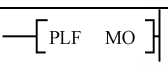
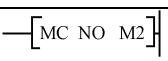
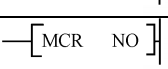
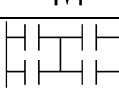
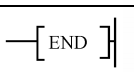
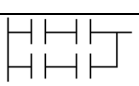


图 9-57　自动装卸线示意图

附录 A　三菱 FX 系列 PLC 基本指令

指令	功　能	梯形图符号	步数	指令	功　能	梯形图符号	步数
LD	起始常开触点		1	MPS	运算存储		1
LDI	起始常闭触点		1	MRD	存储读出		1
LDP	起始上升沿触点		2	MPP	存储复位		1
LDF	起始下降沿触点		2	INV	触点取反		1
OR	并联常开触点		1	OUT	线圈输出		1～5
ORI	并联常闭触点		1	SET	置位线圈		1～2
ORP	并联上升沿触点		2	RST	复位线圈		1～3
ORF	并联下降沿触点		2	PLS	上升沿微分输出		2
AND	串联常开触点		1	PLF	下降沿微分输出		2
ANI	串联常闭触点		1	MC	主控线圈		3
ANDP	串联上升沿触点		2	MCR	主控复位线圈		2
ANDF	串联下降沿触点		2	NOP	空操作		1
ANB	并联回路块串联		1	END	程序结束		1
ORB	串联回路块并联		1				

注：指令 OUT、SET：继电器 Y、M 为 1 步，特殊继电器 M 和 M1536 以上为 2 步；定时器、计数器 T、C 为 3 步，32 位 T、C 为 5 步：RST：继电器 Y、M 为 1 步；M1536 以上为 2 步；状态继电器 S、特殊继电器 M、T、C 为 2 步；数据、变址寄存器 D、V、Z 为 3 步。

附录 B　三菱 FX 系列 PLC 功能指令

分类	指令功能代号	指令助记符	指令格式					指令功能	程序步	适用机型
程序流程	FNC00	CJ(P)	Pn					条件跳转	3 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC01	CALL(P)	Pn					子程序调用	3 步	
	FNC02	SRET						子程序返回	1 步	
	FNC03	IRET						中断返回	1 步	
	*FNC04	EI						中断许可	1 步	
	*FNC05	DI(P)						中断禁止	1 步	
	FNC06	FEND						主程序结束	1 步	
	*FNC07	WDT(P)						监控定时器	1 步	
	FNC08	FOR						循环范围开始	3 步	
	FNC09	NEXT	n					循环范围结束	1 步	
传送与比较	FNC010	(D)CMP(P)	(S1)	(S2)				比较	7/13 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC011	(D)ZCP(P)	(S1)	(S2)	(S3)	(D)		区间比较	9/17 步	
	FNC012	(D)MOV(P)	(S)	(D)				传送	5/9 步	
	FNC013	SMOV(P)	(S)	n	n	(D)	n	移位传送	11 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC014	(D)CML(P)	(S)	(D)				取反传送	5/9 步	
	FNC015	BMOV(P)	(S)	(D)	n			成批传送	7 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC016	(D)FMOV(P)	(S)	(D)	n			多点传送	7/13 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC017	(D)XCH(P)#	(D1)	(D2)				数据交换	5/9 步	
	FNC018	(D)BCD(P)	(S)	(D)				BIN 转为 BCD	5/9 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC019	(D)BIN(P)	(S)	(D)				BCD 转为 BIN	5/9 步	
四则运算	FNC020	(D)ADD(P)	(S1)	(S2)	(D)			BIN 加法	7/13 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC021	(D)SUB(P)	(S1)	(S2)	(D)			BIN 减法	7/13 步	
	FNC022	(D)MUL(P)	(S1)	(S2)	(D)			BIN 乘法	7/13 步	
	FNC023	(D)DIV(P)	(S1)	(S2)	(D)			BIN 除法	3/5 步	
	FNC024	(D)INC(P)#	(D)					BIN 加 1	3/5 步	
	FNC025	(D)DEC(P)#	(D)					BIN 减 1	7/13 步	
	FNC026	(D)WAND(P)	(S1)	(S2)	(D)			逻辑字与	7/13 步	
	FNC027	(D)WOR(P)	(S1)	(S2)	(D)			逻辑字或	7/13 步	
	FNC028	(D)WXOR(P)	(S1)	(S2)	(D)			逻辑字异或	7/13 步	
	FNC029	(D)NEG(P)#	(D)					求补码	3/5 步	FX_{2N}、FX_{3UC}

续表

分类	指令功能代号	指令助记符	指令格式					指令功能	程序步	适用机型
循环移位	FNC030	(D)ROR(P)#	(D)	n				循环右移	5/9 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC031	(D)ROL(P)#	(D)	n				循环左移	5/9 步	
	FNC032	(D)RCR(P)#	(D)	n				带进位右移	5/9 步	
	FNC033	(D)RCL(P)#	(D)	n				带进位左移	5/9 步	
	FNC034	SFTR(P)#	(S)	(D)	n1	n2		位右移	9 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC035	SFTL(P)#	(S)	(D)	n1	n2		位左移	9 步	
	FNC036	WSFR(P)#	(S)	(D)	n1	n2		字右移	9 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC037	WSFL(P)#	(S)	(D)	n1	n2		字左移	9 步	
	FNC038	SFWR(P)#	(S)	(D)	n			移位写入	7 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC039	SFRD(P)#	(S)	(D)	n			移位读出	7 步	
数据处理	FNC040	ZRST(P)#	(D1)	(D2)				全部复位	5/9 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC041	DECO(P)#	(S)	(D)	n			译码	5/9 步	
	FNC042	ENCO(P)#	(S)	(D)	n			编码	5/9 步	
	FNC043	(D)SUM(P)	(S)	(D)				ON 位数个数	5/9 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC044	(D)BON(P)	(S)	(D)				置 ON 位判断	9 步	
	FNC045	(D)MEAN(P)	(S)	(D)	n			平均值	9 步	
	FNC046	ANS	(S)	n	(D)			报警器置位	9 步	
	FNC047	ANR(P)						报警器复位	1 步	
	FNC048	(D)SQR(P)#	(S)	(D)				BIN 开方	5/9 步	
	FNC049	(D)FLT(P)	(S)	(D)				BIN 转为二进制浮点数	5/9 步	
高速处理	*FNC050	REF(P)	(D)	n				输入/输出刷新	5 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC051	REFF(P)	n					滤波调整	3 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC052	MTR	(S)	(D1)	(D2)	n		矩阵输入	9 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC053	DHSCS	(S1)	(S2)	(D)			比较置位（高速计数器）	13 步	
	*FNC054	DHSCR	(S1)	(S2)	(D)			比较复位（高速计数器）	13 步	
	*FNC055	DHSZ	(S1)	(S2)	(S3)	(D)		区间比较（高速计数器）	17 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC056	SPD	(S1)	(S2)	(D)			脉冲密度	7 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC057	(D)PLSY	(S1)	(S2)	(D)			脉冲输出	7/13 步	
	*FNC058	PWM	(S1)	(S2)	(D)			脉宽调制	7 步	
	*FNC059	(D)PLSR	(S1)	(S2)	(S3)	(D)		可调速脉冲输出	9/17 步	

续表

分类	指令功能代号	指令助记符	指令格式					指令功能	程序步	适用机型
方便指令	FNC060	IST	(S)	(D1)	(D2)			状态初始化	7 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC061	(D)SES(P)	(S1)	(S2)	(D)	n		数据查找	9/17 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC062	(D)ABSD	(S1)	(S2)	(D)	n		凸轮控制（绝对方式）	9/17 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC063	INCD	(S1)	(S2)	(D)	n		凸轮控制（增量方式）	9 步	
	FNC064	TTMR	(D)	n				示教定时器	5 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC065	STMR	(S)	m	(D)			特殊定时器	7 步	
	FNC066	ALT(P)#	(D)					交替输出	3 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC067	RAMP	(S1)	(S2)	(D)	n		斜波信号	9 步	
	*FNC068	ROTC	(S)	m1	m2	(D)		旋转工作台控制	9 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC069	SORT	(S)	m1	m2	(D)	n	数据排序	11 步	
外部设备 I/O	*FNC070	(D)TKY	(S)	(D1)	(D2)			十字键输入	7/13 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC071	(D)HKY	(S)	(D1)	(D2)	(D3)		十六键输入	9/17 步	
	*FNC072	DSW	(S)	(D1)	(D2)	n		数字开关	9 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC073	SEGD(P)	(S)	(D)				七段码译码	5 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC074	SEGL	(S)	(D)	n			带锁存七段码译码	7 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC075	ARWS	(S)	(S1)	(S2)	n		方向开关	9 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC076	ASC	(S)	(D)				ASCII 码转换	11 步	
	*FNC077	PR	(S)	(D)				ASCII 码打印	5 步	
	FNC078	(D)FROM(P)	n1	n2	(D)	n		BFM 读出	9/17 步	FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC079	(D)TO(P)	n1	n2	(S)	n		BFM 写入	9/17 步	
外部设备 SER	*FNC080	RS	(S)	m	(D)	n		串行数据传送	9 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	*FNC081	(D)PRUN(P)	(S)	(D)				八进制位传送	5/9 步	
	FNC082	ASCI(P)	(S)	(D)	n			十六进制转为 ASCII 码	7 步	
	FNC083	HEX(P)	(S)	(D)	n			ASCII 码转为十六进制	7 步	
	*FNC084	CCD(P)	(S)	(D)	n			校检码	7 步	

续表

分类	指令功能代号	指令助记符	指令格式					指令功能	程序步	适用机型
	*FNC085	VRRD(P)	(S)	(D)				电位器值读出	5 步	
	*FNC086	VRSC(P)	(S)	(D)				电位器值刻度	5 步	
	*FNC088	PID	(S1)	(S2)	(S3)	(D)		PID 运算	9 步	
浮点数	FNC110	DECMP(P)	(S1)	(S2)	(D)			二进制浮点比较	13 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC111	DEZCP(P)	(S1)	(S2)	(S3)	(D)		二进制浮点区域比较	17 步	
	FNC118	DEBCD(P)	(S)	(D)				二转十进制浮点数	9 步	
	FNC119	DEBIN(P)	(S)	(D)				十转二进制浮点数	9 步	
	FNC120	DEADD(P)	(S1)	(S2)	(D)			二进制浮点数加法	13 步	
	FNC121	DESUB(P)	(S1)	(S2)	(D)			二进制浮点数减法	13 步	
	FNC122	DEMUL(P)	(S1)	(S2)	(D)			二进制浮点数乘法	13 步	
	FNC123	DEDIV(P)	(S1)	(S2)	(D)			二进制浮点数除法	13 步	
	FNC127	DESQR(P)	(S)	(D)				二进制浮点数开方	9 步	
	FNC129	(D)INT(P)	(S)	(D)				二进制浮点数转整数	5/9 步	
	FNC130	DSIN(P)	(S)	(D)				浮点数 sin 运算	9 步	
	FNC131	DCOS(P)	(S)	(D)				浮点数 cos 运算	9 步	
	FNC132	DTAN(P)	(S)	(D)				浮点数 tan 运算	9 步	
	FNC147	(D)SWAP(P)	(S)					上下字节变换	5/9 步	
定位指令	FNC155	ABSD	(S1)	(S2)	(D)	n		ABS 现在值读出	9 步	FX_{1S}、FX_{1N}
	FNC156	ZRN	(S1)	(S2)	(S3)	(D)		原点回归	9 步	
	FNC157	PLSY	(S1)	(S2)	(D)			可变度的脉冲输出	7 步	
	FNC158	DRVI	(S1)	(S2)	(D1)	(D2)		相对定位	9 步	
	FNC159	DRVA	(S1)	(S2)	(D1)	(D2)		绝对定位	9 步	
时钟运算	FNC160	TCMP(P)	(S1)	(S2)	(S3)	(S4)	(D)	时钟数据比较	11 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC161	TZCP(P)	(S1)	(S2)	(S3)	(D)		时钟数据区间比较	9 步	
	FNC162	TADD(P)	(S1)	(S2)	(D)			时钟数据加法	7 步	
	FNC163	TSUB(P)	(S1)	(S2)	(D)			时钟数据减法	7 步	
	FNC166	TRD(P)	(D)					时钟数据读出	3 步	
	*FNC167	TWR(P)	(S)					时钟数据写入	3 步	
	FNC169	HOUR(P)	(S)	(D1)	(D2)			计时仪	7 步	FX_{1S}、FX_{1N}
外部设备	FNC170	(D)GRY(P)	(S)	(D)				格雷码变换	5 步	FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC171	(D)GBIN(P)	(S)	(D)				格雷码逆变换	5 步	

续表

分类	指令功能代号	指令助记符	指令格式					指令功能		程序步	适用机型
	FNC176	RD3A	n1	n2	(D)			模拟快读出		7 步	FX_{1N}
	FNC177	WR3A	n1	n2	(S)			模拟快写入		7 步	
触点比较	FNC224	LD (D) =	(S1)	(S2)				初始接点	(S1)=(S2)	5/9 步	FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{3UC}
	FNC225	LD (D)>	(S1)	(S2)					(S1)>(S2)	5/9 步	
	FNC226	LD (D)<	(S1)	(S2)					(S1)<(S2)	5/9 步	
	FNC228	LD (D)<>	(S1)	(S2)					(S1)<>(S2)	5/9 步	
	FNC229	LD (D)≤	(S1)	(S2)					(S1)≤(S2)	5/9 步	
	FNC230	LD (D)≥	(S1)	(S2)					(S1)≥(S2)	5/9 步	
	FNC232	AND (D)=	(S1)	(S2)				串联接点	(S1)=(S2)	5/9 步	
	FNC233	AND (D)>	(S1)	(S2)					(S1)>(S2)	5/9 步	
	FNC234	AND (D)<	(S1)	(S2)					(S1)<(S2)	5/9 步	
	FNC236	AND (D)<>	(S1)	(S2)					(S1)<>(S2)	5/9 步	
	FNC237	AND (D≤	(S1)	(S2)					(S1)≤(S2)	5/9 步	
	FNC238	AND (D)≥	(S1)	(S2)					(S1)≥(S2)	5/9 步	
	FNC240	OR (D)=	(S1)	(S2)				并联接点	(S1)=(S2)	5/9 步	
	FNC241	OR (D)>	(S1)	(S2)					(S1)>(S2)	5/9 步	
	FNC242	OR (D)<	(S1)	(S2)					(S1)<(S2)	5/9 步	
	FNC244	OR (D)<>	(S1)	(S2)					(S1)<>(S2)	5/9 步	
	FNC245	OR (D≤	(S1)	(S2)					(S1)≤(S2)	5/9 步	
	FNC246	OR D)≥	(S1)	(S2)					(S1)≥(S2)	5/9 步	

注：功能号前有*的指令为仿真软件不支持的指令；
指令助记符后面有#的指令在大多数情况下受扫描周期的影响，一般要加 P。

参 考 文 献

[1] 日本三菱电气公司．三菱 FX_{2N} 系列微型可编程控制器使用手册. 1999.

[2] 日本三菱电气公司．三菱 FX 系列 PLC 编程手册．1999.

[3] 日本三菱电气公司．FX 通讯用户手册．2001.

[4] 日本三菱电气公司．GX Developer Version 8 操作手册，2008.

[5] 日本三菱电气公司．FX_{2N}-16CCL-M 和 FX_{2N}-32CCL CC-Link 主站模块和接口模块用户手册．1992.

[6] 龚仲华，史建成，孙毅．三菱 FX/Q 系列 PLC 应用技术．北京：人民邮电出版社，2006.

[7] 赵燕，周新建．可编程控制器原理与应用．北京：中国林业出版社，2006.

[8] 王阿根．PLC 控制程序精编 108 例．北京：电子工业出版社，2009.

[9] 束长宝．PLC 应用实践．南京：东南大学出版社，2008.

[10] 杨后川，张学民，陈勇．SIMATIC S7-200 可编程控制器原理与应用．北京：北京航空航天大学出版社，2008.

[11] 杨后川，张瑞，高建设，曾劲松．西门子 S7-200 PLC 应用 100 例．北京：电子工业出版社，2009.

[12] 杨后川，祖先锋，张冬冬，周淼．西门子 S7-200 PLC 编程速学与快速应用．北京：电子工业出版社，2010.

[13] 杨后川，高昆，陈勇．某型飞机起落架收放作动筒液压测试系统 PLC 控制设计．机电产品开发与创新，2007.

[14] 杨后川，张学民，郑锐．基于 FX_{2N} PLC 控制的 U 形折板机系统研制．机械制造，2009（5）.

[15] 杨后川，杨萍，陈勇，张学民．基于 FX_{2N} PLC 控制的实验用气动机械手设计．液压与气动，2009（3）.

[16] 罗宇航．流行 PLC 实用程序及设计（西门子 S7-200 系列）．西安：西安电子科技大学出版社，2006.

[17] 刘艳梅，陈震，李一波，渠莉娜等．三菱 PLC 基础与系统设计．北京：机械工业出版社，2009.

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：（010）88254396；（010）88258888
传　　真：（010）88254397
E-mail：dbqq@phei.com.cn
通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱
　　电子工业出版社总编办公室
邮　　编：100036